

TARTU ÜLIKOOL

Loodus- ja tehnoloogiateaduskond

Ökoloogia ja Maateaduste Instituut

Geograafia osakond

Jana Adari

**Suvirapsi kasvatamise keskkonnamõjude hindamine läbi
olelusringi analüüsi**

Magistritöö keskkonnatehnoloogia erialal

Juhendajad: MSc Janika Laht (Tartu Ülikool)

MSc Sirli Pehme (Eesti Maaülikool)

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Juhendaja:

Tartu 2013

Olen koostanud töö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite seisukohad, ning kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

Jana Adari

.....

/töö autori allkiri/

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	7
1.1 Olelusringi hindamine	7
1.2 Rapsikasvatus	12
1.2.1 Rapsi üldiseloostus	14
1.2.2 Rapsi kasvatamise ajalugu ja kasutamine	15
1.2.3 Rapsi agrotehnika	15
1.2.4 Rapsikasvatuse keskkonnamõjud	18
2. METOODIKA	20
3. TULEMUSED JA ARUTELU	25
3.1 Inventuuranalüüs	25
3.1.1 Keskmise saagikus	25
3.1.2 Mullaharimine	26
3.1.3 Külvamine	28
3.1.4 Väetamine	29
3.1.4 Taimekaitse	29
3.1.4 Emissioonid	30
3.1.5 Suvirapsi kasvatamise inventuuranalüüsi tulemuste kokkuvõte	35
3.2 Suvirapsi kasvatamise keskkonnamõjude hindamise tulemused Impact 2002+ meetodiga	37
3.2.1 Suvirapsi kasvatamise keskkonnamõjude hindamise tulemused ühe hektari põllumaa kohta	37
3.2.2 Suvirapsi kasvatamise keskkonnamõjude hindamise tulemused ühe kilogrammi rapsiseemne kohta	42

KOKKUVÕTE.....	48
SUMMARY	50
TÄNUAVALDUSED	52
KASUTATUD KIRJANDUS	53
LISAD	60
Lisa1. Riiklike majanduskatsete ristõieliste õlikultuuride katsearuande vorm	60
Lisa 2. Masinakulude algoritmid. Teraviljakombain.	62
Lisa 3. Ühe hektari põllumaa väetamise keskkonnamõjud.	63
Lisa 4. Ühe hektari põllumaa mullaharimise keskkonnamõjud.	64
Lisa 5. Ühel hektaril põllumaal taimekaitsevahendite kasutamise keskkonnamõjud.	65
Lisa 6. Suvirapsi kasvatamise olelusringi kaalutud tulemuste mõjuvõrgustik ühe hektari põllumaa kohta	66
Lisa 7. Suvirapsi kasvatamise olelusringi kaalutud tulemuste mõjuvõrgustik ühe kilogrammi rapsiseemne kohta.....	67

SISSEJUHATUS

Üha enam pööratakse Euroopas tähelepanu kliimamuutustele, millega seoses on 2020. aastaks Euroopa Liidu liikmesriikidel kohustus vähendada kasvuhooneheitgaaside õhku paiskamist võrreldes 1990. aastaga vähemalt 20% ning suurendada taastuvenergia osakaalu energia kogutoodangust 20%-ni (Mandel, 2012). Eesti on seadnud eesmärgiks taastuvenergia osakaalu tõstmise 25%-ni aastaks 2020 (Eesti taastuvenergia...). Euroopa Parlament ja Nõukogu võtsid 2009. aastal vastu otsuse, et lisaks üldeesmärgile tuleb emissioone vähendada täiendavalt veel heitkogustega kauplemise süsteemi mittekuuluvates majandussektorites (k.a põllumajandus) (Mandel, 2012).

Põllumajandust eristab teistest sektoritest see, et peamine kasvuhooneheitgaas ei ole mitte CO₂, vaid dilämmastikoksiid (N₂O) ja metaan (CH₄). Dilämmastikoksiid ja metaan tekivad peamiselt taimekasvatusest lämmastikväetiste kasutamise ja sõnnikukäitluse tulemusena. (Mandel, 2012) Põllumajandusega seotud kaudsetest allikatest lisandub veel CO₂ fossiilsete kütuste põletamisprotsessist mineraalväetiste tootmisel ja muutustest maakasutuses (Keskkonnakaitse..., 2008) ning N₂O atmosfääri sadestumisest ja leostumisest (Eesti... 2009).

Peale kliimamuutuste mõjutamise on põllumajandustootmisel veel teisigi negatiivseid keskkonnamõjusid. Emissioonidest õhku (SO₂, NO_x ja NH₃) tulenevad happesademed kahjustavad metsi ja veekogude elustikku. Intensiivne maakasutus soodustab põllumuldade erosiooni ja toiteelementide leostumine (eriti fosfor) on üheks peamiseks Läänemere ja siseveekogude eutrofeerumise põhjuseks. Naftal põhineva kütuse ja taimekaitsevahendite kasutamisest tekkinud toksiline saastatus kahjustab oluliselt elusorganisme, s.h inimeste tervist.

Põllumajandustootmise intensiivistumist ja seega ka keskkonnakoormuse suurenemist soodustab kaudselt ka Euroopa Liidu energiapoliitika, millest lähtuvalt on kehtestatud eesmärgid, tõsta aastaks 2020 biokütuste osakaalu 10%-ni (Eesti taastuvenergia...). Sellest on tingitud rapsi suur nõudlus ja soodne hind maailmaturul ning suurenenud rapsi kasvupinnad maailmas.

Ka Eestis võib täheldada rapsi kasvupinna suurenemise trendi ja kuigi mujal maailmas kasvatatakse enamasti suurema saagikusega talirapsi, eelistab Eesti põllumees ilmastikust

tingituna suvirapsi. Põhjamaine ilmastik on kujundanud Eesti põllumajandustavad ja loonud erinevaid majanduslikke piiranguid nagu näiteks suurem energiakulu ja madalam saagikus. Välja kujunenud tavade või ka lihtsalt harjumuste muutmine eeldab põhjalikke teadmisi rapsi kasvatamisest. Kui on teada millistel tootmisprotsessidel on kõige suurem mõju keskkonnale, teame ka seda milliseid protsesse järgides ja samas saagikust säilitades saaksime tegutseda keskkonnahoidlikult.

Üheks vahendiks tootmise keskkonnamõjude teada saamiseks on rahvusvaheliselt üha laiemat kasutust leidev olelusringi hindamise metoodika (Life cycle assessment, LCA), mille käigus hinnatakse tootmise keskkonnamõju nn hällist hauani. Meetod on oma olemuselt kvantitatiivsetel andmetel põhinev analüüs, mille käigus võetakse vaatluse alla toote/teenuse keskkonnamõjud kogu olelusringi ajal ja mille tulemusena tuuakse välja keskkonnale avaldub potentsiaalne mõju. Olelusringi metoodika rakendamisel põllumajanduses võetakse lisaks põllul toimuvale arvesse ka sisendite (väetised, taimekaitsevahendid jne) tootmise keskkonnamõjusid.

Käesoleva töö eesmärgiks on läbi viia suvirapsi kasvatamise olelusringi analüüs, mille tulemusena: 1) selgitatakse välja suvirapsi kasvatamisega seotud sisendid ja väljundid Eesti kliimatingimustes ühe hektari põllumaa ja ühe kilogrammi rapsiseemne kohta, 2) tuuakse välja suvirapsi kasvatamise olulisemad keskkonnamõjud ning 3) analüüsitakse millistest etappidest ja sisenditest need pärinevad.

Töö teoreetilises osas on kirjeldatud olelusringi hindamise metoodikat ja antud ülevaade rapsist kui põllukultuurist, tema kasutamise võimalustest ning rapsikasvatamise agrotehnikast. Samuti tuuakse välja tulemusi eelnevate maailmas läbi viidud rapsi olelusringi hindamiste kohta.

Töö praktilises osas on ära toodud suvirapsi kasvatamisega seotud etappide inventuuranalüüs, mille käigus kogutud andmeid on analüüsitud tarkvara SimaPro 7.3 ja hindamismeetodi Impact 2002+ abil ja olelusringi hindamise tulemused. Kõik suvirapsi kasvatamisega seotud sisendid ja väljundid ning olelusringi hindamise tulemused (mõju-kategooriad, kahjukategooriad) on välja toodud nii ühe hektari põllumaa kui ka ühe kilogrammi rapsiseemne kohta.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Olulusringi hindamine

Olulusringi hindamine (*Life Cycle Assessment, LCA*) on keskkonnamõjude uurimine kogu toote olulusringi jooksul ehk “hällist hauani” ning sisuliselt tähendab see mõjude hindamist alates toormaterjalide tootmisest kuni lõpliku kõrvaldamiseni (Benoist *et al.* 2012; Life cycle... 2006). Olulusringi hindamist saab edukalt rakendada ka põllumajandustoodangu tootmissüsteemide hindamiseks (Hayashi *et al.* 2007).

Olulusringi hindamise "hällist hauani" lähenemisel võetakse arvesse üheaegselt mitut tootest või teenusest tulenevat keskkonnaaspekti (ISO 14040, 2006; Tuomisto *et al.* 2012a) ning hindamine võib keskenduda kas ühele- või erinevatele toodetele, mis täidavad samasugust otstarvet (Talve & Pöld 2005).

LCA kasutamise võimalused

Olulusringi hindamine võimaldab saada informatsiooni toote või teenuse kõige olulisematest keskkonnaspektidest ja saadud tulemusi rakendada seadusandluse loomisel või täiustamisel, riiklike tegevuskavade väljatöötamisel ning samuti tootmisprotsesside keskkonnasõbralikumaks muutmisel (Talve & Pöld 2005; Life cycle... 2006). Levinud on LCA kasutamine erinevate põllumajandussüsteemide keskkonnamõjude võrdlemisel (Tuomisto *et al.* 2012a).

LCA rakendusalasid kasutatakse üha rohkem turunduses, kuna keskkonnateadlikkuse tõustes pööravad tarbijad tähelepanu toodete ja teenuste keskkonnaomadustele ning eelistavad keskkonnahoidlikke tooteid (Talve & Pöld 2005).

Olulusringi hindamist ei saa kasutada asukohavalikuga, ühe aine, ressursi või ettevõtte keskkonnamõjuga või –riskidega seotud küsimuste lahendamiseks, samuti ei kaasata hindamisse toote sotsiaalseid ega majanduslikke aspekte (Talve & Pöld 2005).

LCA ajalugu

Toodete ja materjalide olulusringi analüüsiti ning hinnati esimest korda Ameerika Ühendriikides. Hindamistel keskenduti algselt toorme-, energia- ja jäätmevoogude uurimisele, sest 1973. aasta globaalne naftakriis ning ressursside ammendumise oht mõjutas üldsuse kesk-

konnateadlikkust. Sellist algset hindamist nimetati “ressursi- ja keskkonnaaspekti analüüsiks” (Talve & Põld 2005; Guinée *et al.* 2011).

Euroopas arendati samaaegselt analoogset metoodikat, mida kutsuti “ökobilansiks”. 1979. aastal kerkis seoses naftakriisiga esile uus LCA-ga sarnane keskkonnaanalüüs – alternatiivkütustele pühendatud koguenergiaanalüüs. (Talve & Põld 2005)

Pärast naftakriiside lõppu oli huvi keskkonnanalüüsides vastu vähene, kuid see elavnes uuesti kaheksakümnendate aastate keskpaigas, kui Roheline Liikumine Euroopas hakkas tähelepanu pöörama tootepakendite valmistamise suurele toormekulule. Mitmes Euroopa riigis korraldati joogipakendite võrdlusuuringuid, milledes võeti arvesse toormekasutust ja heiteid (Talve & Põld 2005).

Aastatel 1970-1990 viidi läbi mitmeid LCA uuringuid, kuid samasuguse probleemiga tegelevad uurimisrühmad jõudsid tihti vastandlike järeldusteni, sest uuringutes kasutatud metoodikad, andmebaasid ja terminoloogia olid erinevad (Talve & Põld 2005; Guinée *et al.* 2011). Mitmed organisatsioonid haarasid initsiatiivi ühtse metoodika väljatöötamiseks ja alates 1990. aastast on keskne roll selles olnud Keskkonnatoksikoloogia ja -keemia Ühingul (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC). 1991. aastal ilmus LCA rakendamiseks mõeldud ja rahvusvaheliselt heaks kiidetud tegevusraamistik (*A Technical Framework for Life Cycle Assessment*), milles oli juba ka tänapäevase hindamise elemente (Talve & Põld 2005). Esimesed vastavasisulised artiklid ilmusid sellistes väljaannetes nagu *Journal of Cleaner Production*, *Conservation and Recycling* jne (Guinée *et al.* 2011).

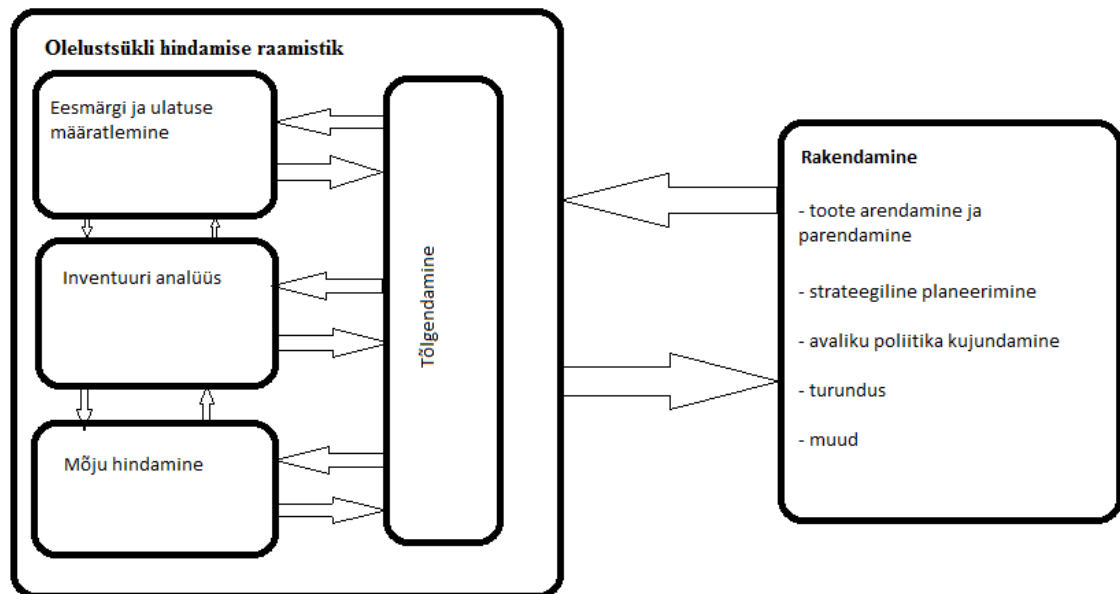
1993. aastal algas Rahvusvahelise Standardiseerimisorganisatsiooni (International Organization for Standardization, ISO) initsiatiivil LCA rahvusvaheliste standardite välja töötamine ja mille tulemusena reguleerivad tänapäeval olulusringi hindamist kaks standardit: ISO 14040 (2006) ja ISO 14044 (2006) (Talve & Põld 2005, Guinée *et al.* 2011).

Andmebaaside kvaliteet ja andmete kogumine on olulusringi hindamisel jätkuvalt problemaatiline, kuid siiski on teabe ja kogemuste vahetamise võrgustikud kiirendanud LCA arenguprotsessi ning mitmetes Põhja-Ameerika ja Lääne-Euroopa riikides võib märgata olulist arengut. Samuti on LCA arendamise protsessi aktiivselt kaasatud teadlased

erinevatest rahvusvahelistest organisatsioonidest, nagu näiteks Rahvusvaheline Standardiorganisatsioon (ISO), Ülemaailmse Keskkonnatoksikoloogia ja -keemia ühing (SETAC), Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni Keskkonnaprogramm (UNEP) jne. (Roy *et al.* 2007)

LCA ülesehitus

LCA koosneb neljast etapist (joonis 1). Esmalt määratletakse hindamise eesmärk ja käsitusala, sellele järgneb inventuuranalüüs (*Life Cycle Inventory*, LCI), mille käigus kogutakse andmeid olelusringi kestel kasutatava energia ja ressursside ning tekkivate heidete kohta. Kolmandas etapis hinnatakse ressursikasutuse ja heidete keskkonnamõju ning viimases etapis tõlgendatakse tulemusi, lähtudes uuringu eesmärgist. (Talve & Pöld 2005)



Joonis 1. LCAetapid (Roy *et al.* 2007; ISO 14040 2006E)

Eesmärgi ja käsitusala määratlemine

Eesmärgi ja käsitusala määratlemine on üks olulisematest etappidest olelusringi hindamisel, sest mõjutab oluliselt tulemuste kvaliteeti. Selles etapis määratletakse ära uuringu eesmärk, uurimisobjekt, süsteemi piirid, funktsionaalne ühik (Functional Unit, FU) ja töö detailsus ning ulatus. (Roy *et al.* 2007)

LCA eesmärgid võivad olla erinevad, nagu näiteks alternatiivsete toodete, protsesside või teenuste võrdlus; alternatiivsete olulusringide võrdlus ja ettepanekute esitamine toote olulusringi teatud osade muutmiseks (Roy *et al.* 2007) või standardile vastavaks muutmiseks (Talve & Põld 2005).

Olelusringi käsitusala määratlemine algab hinnatava tootesüsteemi lühikese kirjeldamise ja tootesüsteemi valiku põhjendusega. Tooteid tuntakse reeglina nende otstarbe järgi. Selleks, et tulemused oleksid võrreldavad, peavad võrreldavad tootesüsteemid täitma sama funktsiooni. LCA läbiviimisel hinnatakse tooteid nende kasutusotstarbe, mitte aga toote keskkonnamõju kaudu. (Talve & Põld 2005)

Olelusringi hindamise aluseks on funktsionaalne ühik, mis on toote funktsiooni mõõtarv ning millega seostatakse kõik inventuuranalüüsil kogutud andmed (Talve&Põld 2005; Roy *et al.* 2007).

Süsteemi piiri kajastatakse sageli sisendite ja väljundite voodiagrammina. Süsteemi piiride määratlemisel on oluline arvesse võtta iga etapp, mis seotud toote, protsessi või tegevuse olulusringiga ja mis võivad mõjutada üldist tõlgendamist või analüüsimist (Roy *et al.* 2007; Life cycle... 2006). Peale süsteemi piiri tuleks määratleda ära ka geograafiline piir ja kokkupuutepiir loodusega (Talve&Põld, 2005) ning jätta välja need elemendid, mille mõju on eelduste kohaselt väike ja mis vastavad kehtestatud piirkriteeriumitele (Benoist *et al.* 2012). Samuti võib süsteemi piire hindamise käigus vastavalt inventuuranalüüsi ja olelusringi mõju hindamise tulemustele muuta (Talve&Põld, 2005).

Tuomisto *et al.* (2012a) väitel on üldjuhul põllumajanduslike LCA-de puhul kasutatud süsteemi piiridena protsesse, mis algavad sisendite tootmisest (nt väetised, pestitsiidid ja kütused) ja lõpevad nn. „farmi väravas” ning funktsionaalse ühikuna uuritava põllumajandusliku toote ühikut farmi väravast lahkununa.

Inventuuranalüüs (*Life cycle inventory analysis, LCI*)

Andmete kogumine on väga aeganõudev protsess ning seetõttu on see etapp olelusringi hindamisel kõige intensiivsem (Roy *et al.* 2007). Andmete kogumisel on oluline järgida teatud põhimõtteid, nagu näiteks: andmed peavad olema täpsed ja esinduslikud, kõikides

etappides tuleb järgida ühesugust lähenemisviisi ja andmed peavad olema korratavad (Talve&Pöld 2005; Benoist *et al.* 2012).

Loodud on mitmeid olulusringi hindamise andmebaase mida saab osta tavaliselt koos vastava tarkvaraga. Reeglina võib olulusringi hindamise andmebaasidest leida andmeid, mida on võimalik kasutada protsessides, mis ei ole seotud konkreetse tootega, vaid näitavad üldandmeid, nagu transport, tooraine kaevandamine jne. (Roy *et al.* 2007)

Uuritava toote kohta peab leidma ka kohaspetsiifilisi andmeid, mis sisaldaksid kõikide protsesside sisendeid ja väljundeid. Sisenditeks on energia (taastuv ja taastumatu), vesi, tooraine jne. Väljunditeks on toodang, kaastoodang, samuti heitkogused (CO₂, CH₄, SO₂, NO_x ja CO) õhku, vette ja pinnasesse. (Roy *et al.* 2007)

Olelusringi mõjude hindamine

Olelusringi mõju hindamine (*Life cycle impact assessment*, LCIA) on olelusringi inventuurianalüüsi tulemuste tõlgendamine ja hindamine, analüüsides nende mõju keskkonnale (Talve & Pöld 2005). Hindamise eesmärgist ja käsitusalaast sõltuvad hindamise detailsus, mõjukategooriate valik ja metoodika (Talve & Pöld, 2005). Bare&Gloria (2008) väitel mõjutavad mõjukategooria valikut pigem praktilised kaalutlused, nagu keskkonnamudelite ja andmete kättesaadavus, kehtivate eeskirjade kokkusobivus, ühiskondlikud arusaamad väärtustest ja keskkonnaseisundi hetkeseis.

LCIA koosneb reeglina sellistest elementidest nagu klassifitseerimine, iseloomustamine, normaliseerimine ja kaalumine (Roy *et al.* 2007).

Klassifitseerimise käigus jaotatakse LCI tulemused mõjukategooriate vahel (Roy *et al.* 2007). Mõjukategooria iseloomustamiseks teisendatakse LCI tulemused tunnustegurite abil ühisühikusse ja nende liitmisel saadakse igale mõjukategooriale indikaatortulemus, mis võimaldab võrrelda LCI tulemusi erinevates mõjukategooriates (Roy *et al.* 2007). Normaliseerimise käigus jagatakse indikaatortulemuste suhteline väärtus valitud taustväärtusega, milleks võib olla näiteks regionaalne koguheide või ressursikasutus. Kaalumise käigus korrutatakse indikaatortulemused väärtusvalikute põhjal leitud kaaluteguritega. (Talve & Pöld 2005)

Talve & Põld (2005) toovad välja valiku enamkasutatavatest mõjukategooriatest: 1) globaalsoojenemine, 2) osoonikihi lagunemine, 3) hapestumine, 4) eutrofeerumine, 5) fotokeemilise osooni moodustumine, 6) toksilisus inimesele ja –ökosüsteemidele, 7) loodusressursside ammendumine jne. Iga mõjukategooria mõjutab omakorda vähemalt ühte järgnevast keskkonnaaspektist: 1) ressursside kasutamine, 2) inimese tervis ja 3) ökosüsteemid (Talve & Põld 2005).

Olelusringi mõjude hindamiseks on kasutusel erinevaid rahvusvaheliselt tunnustatud meetodeid, nagu näiteks Ecoindicator 99, IMPACT 2002+, ReCiPe 2008 jne.

Tõlgendamine

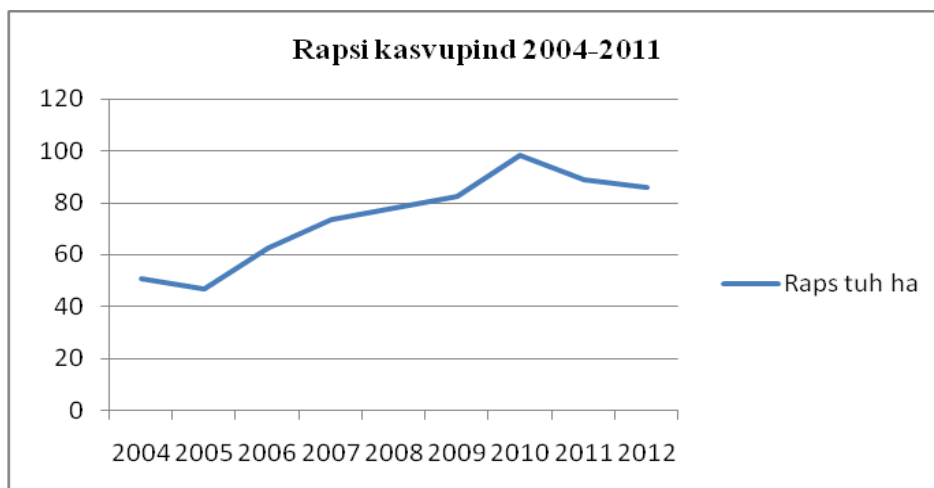
LCA viimaseks etapiks on tõlgendamine, mis võimaldab süstemaatiliselt kontrollida ja hinnata LCI ja LCIA etappe, anda tulemustest põhjalik ülevaade, teha järeldusi ning anda soovitusi (Talve & Põld 2005; Roy *et al.* 2007).

Fazio&Monti (2011) toovad välja, et erinevate põllumajanduspraktikate (nagu näiteks väetamine ja pestitsiidide kasutamine) ja maakasutustingimuste korral võivad LCA tulemused oluliselt erineda.

1.2 Rapsikasvatus

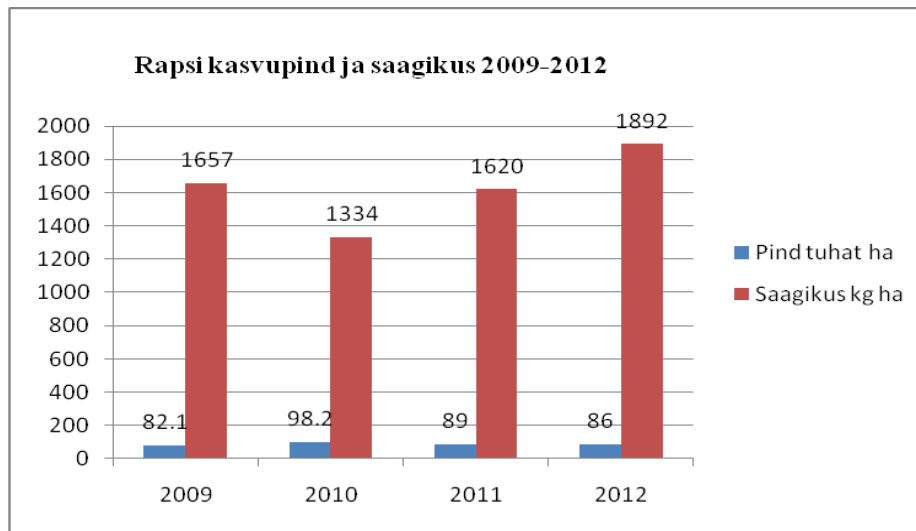
Raps on muutumas tuleviku kultuuriks mis aitaks säästa maavarasid kütuse tootmisel (Loide 2006) ning seoses sellega on rapsist kujunemas üks olulisemaid tuluallikaid taimekasvatuses (Lauringson&Talgre 2012).

Rapsi hind on võrreldes teravilja hinnaga olnud oluliselt kõrgem ning koos suurenenud rapsiõli nõudlusega Euroopas ja mujal maailmas on see mõjutanud rapsi kasvupinna suurenemist (joonis 2) (Põllumajandussektori...2012).



Joonis 2. Rapsi kasvupind Eestis aastatel 2004-2012 (Statistikaamet...; Põllumajandus-sektori... 2012, 2013).

2012. aastal oli rapsi kasvupinnaks 86 tuhat/ha, mis on 3% väiksem kui 2011. aastal ja kogusaagiks oli 162,6 tuhat/t, mis on 13% suurem kui 2011. aastal (joonis 3). Võrreldes 2011. aastaga oli 2012. aastal rapsi külvipind väiksem, kuid tulenevalt paremast saagikusest kogusaak suurem. (Põllumajandussektori...2012).

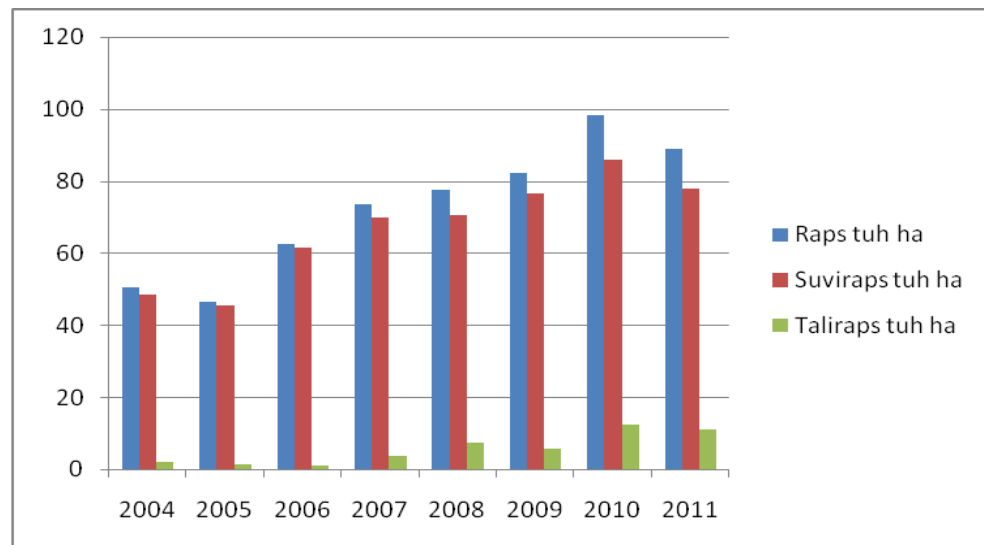


Joonis 3. Rapsi kasvupind ja saagikus Eestis aastatel 2004-2012 (Statistikaamet...; Põllumajandus-sektori... 2012, 2013).

Aamisepp&Matveev (2012) toovad välja eelduse, et kuna rapsi ei soovitata kasvatada iseendale järgnevalt samal maal enne 4-5 aastat, siis võiks rapsi maksimaalne kasvupind

Eestis olla kuni 120 000 ha. Rapsikasvatajatel tuleb aga valmis olla probleemideks, mis kaasnevad külvikorra järgimise rikkumisega kaasnevate rapsi haiguste leviku ja nende tõrjega (Lauringson&Talgre 2012).

Rapsi kasvupinda ei saa siiski lõpmatuseni suurendada, seega tuleks tähelepanu pöörata tema keskmise saagikuse, mis 2011. aastal oli Eestis 1,6 t/ha (ELi keskmine 2,9 t/ha), tõstmisele. Eestis on siiani kasvatatud peamiselt suvirapsi, kuna ilmastik ei soosi suurema saagipotentsiaaliga talirapsi talvitumist (joonis 4). Viimastel aastatel on siiski märgata talirapsi osatähtsuse tõusu: 2012. aastal külvati talirapsi 21 000 hektarile ehk ligi poole suuremale pinnale kui 2011. aastal (Aamisepp&Matveev 2012).



Joonis 4. Rapsi kasvupind aastatel 2004-2011; eraldi on välja toodud rapsi kogupind ja talirapsi ning suvirapsi kasvupinnad (Statistikaamet...; Põllumajandussektori... 2012, 2013).

1.2.1 Rapsi üldiseloomustus

Raps (*Brassica napus*) kuulub kapsasrohu perekonda ja on nii geneetiliste- kui ka väliste tunnuste poolest sarnane kaalikaga, mistõttu nimetatakse teda ka õlikaalikaks. Rapsi päritolu on teadmata, kuid eeldatakse, et raps on tekkinud rüpsi ja kapsa ristumisest. Uurimused on kinnitanud, et rapsi on võimalik luua mõlema eelnevalt mainitud kultuuri ristamisel ning tänapäevased rapsisordid on pärit just sellisest lähtematerjalist (Kaarli 2003).

1.2.2 Rapsi kasvatamise ajalugu ja kasutamine

Raps on Eesti tingimustes kõige paremini kasvav õlikultuur (Eesti Põllu- ja Maa- majanduse...), mille kasvatamist alustati 1960.-ndatel aastatel. Eelkõige kasutati rapsi haljassöödaks ja silokultuuriks, kuna algselt Eestis kasvatatavate sortide seemnete õli oli kõrge eruukahappe ja glükosinolaatide sisaldusega ning seetõttu ei kvalifitseerinud kvaliteetse taimeõli ega õlikoogi valmistamiseks (Noormets *et al.*, 2007).

Rapsi kasvatamisel on pikad traditsioonid nii Euroopas (eriti Prantsusmaa ja Saksamaa), Aasias (Hiina), Kanadas kui ka Indias. Madala eruukahappe ja glükosinolaatide sisaldusega rapsiõli on tarbitavuselt kolmandal kohal peale soja- ja palmiõli, samal kohal on ta ka tarbitavuselt seemnena (Rondalini *et al.* 2012).

Rapsiõli on kasutatud mitmesuguste määrdeainete valmistamiseks, samuti leiab rapsiõli laialdast kasutust metallurgias, naha-, tekstiili- ja parfümeeriatööstuses. Kaasaegsete rapsi- sortide seemnetes on ebasobivate ainete sisaldus madalam, mistõttu kasutatakse ka Eestis kasvatatud rapsiseemneid toiduõli, margariini ja söödaproteiini tootmiseks. (Noormets *et al.*, 2007)

Viimasel aastatel on nõudlus rapsi ja muude õlikultuuride järele kasvanud seoses energia- kriisiga (Rondalini *et al.* 2012) ning seetõttu kasutatakse suurt osa rapsi saagist ener- geetilistel eesmärkidel. Õlikooke ja põhku (rapsi varsi) kasutatakse kütusena põletamisel ja biogaasi tootmiseks. Seemnetest toodetakse õli - esterifiidi, mida lisatakse diiselkütusesse. Rapsiõli tootmise kõrvalsaadusena valmistatakse rapsipelleteid, mis on kõrge kütte- väärtusega kütteaine (kütteväärtus on 7 kWh/kg). (Noormets *et al.* 2007)

1.2.3 Rapsi agrotehnika

Rapsi külvikord

Suure toitainetevajaduse tõttu kasvab raps hästi pärast liblikõielisi ja orgaanilist väetist saanud rühvelkultuuridele järgnenud teravilja (Noormets *et al.* 2007). Rapsil on mitmete kultuuridega nagu hernes (valgemädanik), lina (kuivlaiksus) ja kartul (tõusmepõletik) ühiseid haigusi ning rapsi vahe nendega külvikorras võiks olla 1-2 aastat. Iseendale järgnevus on samuti ohtlik, kuna ristõieliste kuivlaiksus (*Alternaria brassicae*) kandub mulla kaudu edasi peamiselt järgmisel aastal ning valgemädanik (*Sclerotinia sclerotiorum*)

jt. ka järgnevatel aastatel, mistõttu ei tohiks rapsi samale kasvukohale külvata enne 4-6 aastat (Kaarli 2003; Noormets *et al.* 2007)

Kõige paremini sobib raps külvikorras teraviljade vahele, kuna rapsi juureeritised pärsivad teraviljade juuremädanike arengut (Ilumäe *et al.* 2007a).

Rapsile sobiv mullastik ja mullaharimine

Rapsi kasvatamiseks sobivad kõige paremini keskmised liivsavi- ja saviliivmullad, mille pH on üle 6,5. Raps on põuakartlik kultuur, samuti ei talu raps liigniiskust ega turvasmulda. Turvasmullal kasvab rapsi taimestik lopsakaks, seeme valmib hilja ja ebaühtlaselt ning lamandub varakult. Eestis on parimaid saake saadud leostunud kamar-karbonaatmuldadelt, kamar-leetmuldadelt ja kamar-gleimuldadelt. (Kaarli 2003; Noormets *et al.* 2007).

Raps on peeneseemneline kultuur, mistõttu on oluline nii optimaalse külvisügavuse kui ka seemnete heade idanemistingimuste tagamiseks mulla pinna tasasus. Eelmisest kultuurist mulla pinnale jäänud taimejäänused tuleks korralikult peenestada ja mullaga segada (Vettik&Võsa 2010) ning seetõttu ei ole otstarbekas pärast rohumaa (karjamaa, põldhein) ümberküüdi esimesel aastal rapsi külvata (Ilumäe *et al.* 2007a).

Rapsi väetamine

Rapsile optimaalseks lämmastikväetiste koguseks on N 100-120 (140) kg/ha. Väetamisel tuleks kindlasti lähtuda mullanalüüsist, sest väetisega lisatav toitainete kogus sõltub mullas sisalduvate taimedele kättesaadavate toitainete hulgast. (Ilumäe *et al.* 2007a). Noormets, *et al.* (2007) väitel tuleks hektarilt kolme tonni seemnesaagi saamiseks rapsile lämmastikväetist anda N 150-200 kg/ha, kuna suviraps akumulereib lämmastikku 50-60 kg iga tonni seemne tootmiseks. Viil *et al.* (2010) toob välja, et parim tulemus väetamisel saadakse kui taimedele antakse pool lämmastikust orgaanilise- ja pool mineraalväetisena.

Kaarli (2003) andmetel kulub sõltuvalt väetistarbest hektarilt kahe tonni seemnesaagi saamiseks 20-45 kg/ha fosforit ja 20-120 kg/ha kaaliumit, seega ei ole otstarbekas kasvatada rapsi suure väetistarbega, ehk toitainevaestel muldadel. Praktikas külvatakse kõige sagedamini rapsi keskmise väetistarbega muldadele, seega antakse rapsile hektarilt kahe tonni seemnesaagi saamiseks 30 kg/ha fosforit ja 60 kg/ha kaaliumi.

Raps vajab peale põhiväetiste (NPK) ka mikroelemente, eelkõige selliseid elemente nagu väävel (S), magneesium (Mg) ja boor (B) (Ilumäe *et al.* 2007a). Väävlivajadus on rapsil kordades suurem kui teraviljadel (suurem proteiinisaldus), mistõttu tuleks väävlit rapsile anda 30-60 kg/ha (Loide 2006). Magneesium on oluline seemnete õlisisalduse suurendamisel, ühe tonni (seemed ja põhk) moodustamiseks kulub rapsil 5-8 kg Mg/ha. Boor on rapsi kasvutegevuseks väga oluline mikroelement, kuna boori puudumisel esineb häireid õite moodustamisel ja viljastumisel, mis avaldab otsest mõju rapsi seemnesaagile. Boorväetise vajalikkus tehakse kindlaks mulla- või leheanalüüsidega. (Kaarli 2003)

Rapsi külvamine

Suvirapsi seemed idanevad mullas juba + 5°C temperatuuri juures, kuid ühtlasema saagi tagamiseks on optimaalne külviaeg +10...+15°C juures. Liiga varajase külvi korral võib tärkamine hilineda ja põld risustub herbitsiididele mittealluvate umbrohtudega (Kaarli, 2003).

Optimaalseks külvisenormiks on suvirapsil 200 idanevat seemet ühele m²-le (7-8 kg/ha) (Noormets *et al.* 2007). Praktikas kõiguvad külvinormid 150-200 idanevat seemet/m² vahel ja kasutades hea idanemusega ja puhitud seemet ning korraliku mullaharimist ja täpset külvikut on võimalikud ka tavalisest palju väiksemad külvinormid, vastavalt 4-4.5 kg/ha (Ilumäe *et al.* 2007a).

Noormets *et al.* (2007) on välja toonud, et erinevused külvisenormis (150-450 idanevat seemet ühe m² kohta) ei põhjusta olulisi erinevusi saagi suurusel, kuid tihedamalt külvatud rapsi varred jäävad nõrgaks ja taimik lamandub kergesti ja seeme jääb peenikeseks. Hõredamalt külvatud taimed moodustavad rohkesti kõrvalharusid, õitsevad kaua ja valmivad ebaühtlaselt ning haiguspuhangute oht on väiksem.

Taimekaitse

Rapsi kasvatamine on võrreldes teraviljakasvatatusega oluliselt kulukam, kuna taimekaitsevahendite (herbitsiidid, fungitsiidid, insektitsiidid) kokkuhoid on seotud tihti saagikuse langusega. Eriti oluline on seetõttu järgida teatud agrotehnilisi võtteid nagu näiteks külvi-seemne puhtimine, külvikorras kinnipidamine, ristõieliste umbrohtude tõrjumine külvikorras, eelkultuuri valik jms. Taimekahjustajate leviku tõkestamiseks võiks vältida suvi- ja

talirapsi kõrvuti kasvatamist. Kui eelnevad meetodid ei ole tulemusi andnud siis tuleks vastavalt haiguste- ja kahjurileviku tõkestamiseks kasutada keemilisi vahendeid. (Ilumäe *et al.* 2007b)

Rapsi koristamine

Eestis koristatakse raps ühefaasiliselt, mis tähendab et rapsil ei lasta vaalus järelvalmida, vaid koristatakse põllult ühe töövõttega. Sellest hoolimata on koristuskadudeks hinnanguliselt 50-300 kg/ha. Raps valmib sõltuvalt ilmastikust 110-130 päeva pärast külvi, kuid õige koristusvalmiduse leidmiseks tuleb rapsi pidevalt jälgida. Raps on koristusvalmis kui vähemalt 90% seemnete sisu on muutunud kollaseks. (Kaarli 2003)

1.2.4 Rapsikasvatuse keskkonnamõjud

Kuna rapsiõli on perspektiivikas tooraine biodiisli tootmiseks, siis viiakse maailmas üha enam läbi rapsiõli põhineva biodiisli olelusringi hindamisi. Eestis vastavaid hindamisi tehtud ei ole, samuti ei ole hinnatud ainult rapsi kasvatamisega seonduvaid keskkonnamõjusid.

Milazzo *et al.* (2013) on teinud ülevaate neljakümnest biodiisli olelusringi uuringust, millest selgub, et enamikes uuringutes on hinnatud talirapsi ja peamised Euroopa rapsi-tootjad on Prantsusmaa, Saksamaa, Poola ja Ühendkuningriik. Kui vaadata Milazzo *et al.* (2013) poolt välja toodud andmetest ainult rapsi kasvatamise protsessi, siis suurimad emissioonid keskkonda (õhk, vesi ja muld) tekivad väetamise ja diisli kasutamise protsessidest. Artiklist selgub samuti, et Euroopa tingimustes on märkimisväärsed erinevused lämmastikväetiste kasutamises (83-290 kg/ha/aastas) ja rapsi saagikuses (2200-4080 kg/ha/aastas) ning et rapsi kasvatamisel tekkivaid keskkonnamõjusid on võimalik vähendada saagikamaid sorte kasvatades, väetamise põhimõtteid parandades (tõstes orgaaniliste väetiste osakaale), vähem toksilisi herbitsiide kasutades, kuivatamise tehnoloogiat täiustades ja efektiivsemaid põllumajandusmasinaid kasutades.

Schmidt (2007) toob omalt poolt välja, et maakasutustüübi muutmisel on suured keskkonnamõjud sellistes kategooriates nagu kliima soojenemine, maakasutus ja bioloogiline mitmekesisus. Samuti on väetamisel suur mõju kliima soojenemisele.

Iriarte *et al.* (2013) poolt on uuritud Tsiili erinevate maaviljelusvõtete (tavapärane ja minimeeritud) ning väetamiste keskkonnamõju ja energianõudlust. LCA ulatuseks on olnud kogu rapsiseemne tootmise protsess: 1) maaharimine ja väetamine, 2) herbitsiidide ja fungitsiidide kasutamine, 3) põllutöömashinate kasutamine, 4) diisli kasutamine ja 5) seemnete kasutamine. Uuringu tulemusena ei leitud suuri erinevusi energianõudluse osas (minimeeritud harimisviis 8% vähem kui tavapärane), kuid toodi välja et mõlemal juhul on väetamine kõige suurema keskkonnamõjuga protsess.

Hoolimata sellest, et järjest enam tehakse olelusingi hindamisi, kus uuritakse ühe osana rapsi kasvatamise keskkonnamõjusid, on neis emissioonidega arvestamine olnud tagasihoidlik. Joao&Fausto (2011) poolt tehtud uuringust selgub, et kahekümne kaheksast Euroopas tehtud LCA-st on ainult neljas arvestatud mulla süsiniku emissioone kasvuhoonegaaside bilanssi.

Sara *et al.* (2013) on toonud oma uuringus välja, et kuigi rapsiõlist toodetud biodiisli kasutamine võib vähendada kasvuhoonegaaside emissioone ja osoonkihi vähenemist, võib see samas suurendada hapestumist, eutrofeerumist ja konkurentsi haritavale maale.

2. METOODIKA

Uurimuse eesmärk

Käesoleva töö eesmärgiks on läbi viia suvirapsi kasvatamise olelusringi analüüs, mille tulemusena: 1) selgitatakse välja suvirapsi kasvatamisega seotud sisendid ja väljundid Eesti kliimatingimustes ühe hektari põllumaa ja ühe kilogrammi rapsiseemne kohta, 2) tuuakse välja suvirapsi kasvatamise olulisemad keskkonnamõjud ning 3) analüüsitakse millistest etappidest ja sisenditest need pärinevad.

Uurimuse käsitlusala

Käesolevas töös on viidud läbi lühike olelusringi hindamine (*short internal, LCA*), mille käigus selgitatakse välja, millised on suvirapsi kasvatamise keskkonnamõjud ning millised etapid rapsiseemne kasvatamise olelusringis omavad suurimat mõju keskkonnale (Simapro 6 2004).

LCA ulatuseks on põllumajandusettevõttes suvirapsi kasvatamisega seotud protsessid, nagu maaharimine, külvamine, väetamine, taimekaitse ja saagi koristamine (joonis 5). Järgneva protsesse nagu rapsiseemne kuivatamine, transport põllule ja tagasi ning edasine teekond tarbijani ei ole töös arvestatud. Samuti ei ole arvesse võetud eelneva kultuuri mõju ja põllutöömasinatootmist.

Mullaharimine diisli tootmine ja kasutamine
Külvamine diisli tootmine ja kasutamine
Väetamine diisli tootmine ja kasutamine NPK väetiste tootmine ja kasutamine (emissioonid)
Taimekaitse diisli tootmine ja kasutamine herbitsiidide, fungitsiidide, insektitsiidide tootmine ja kasutamine
Saagi koristamine diisli tootmine ja kasutamine
Emissioonid põllumaalt CO ₂ , N ₂ O, CH ₄ , NH ₃

Joonis 5. Uuritava süsteemi piirid.

Kõik suvirapsi kasvatamisega seotud sisendid ja väljundid on välja toodud talitlusühikuna nii ühe hektari põllumaa kui ka ühe kilogrammi rapsiseemne kohta.

Suvirapsi kasvatamise andmed saadi PMK Viljandi Katsekeskusest, kus on suvirapsi katseid teostatud stabiilselt igal aastal pika aja jooksul. Katsete tulemused on kirjeldatud PMK Viljandi Katsekeskuse poolt koostatud dokumentides “Riiklike majanduskatsete tulemused” ja “Riiklike majanduskatsete ristõieliste õlikultuuride katsearuande vorm” aastate 2007-2012 kohta (lisa 1).

Käesolevas töös on sisendite koguste osas aluseks võetud 2012. aasta katseandmed, kuna viimasel kolmel katseaastal ei ole kasutatud väetiste kogustes suuri erinevusi. 2012. aastal on rapsile antud väetisi (toimeainena) järgnevalt: 1) N 119 kg/ha, 2) P 18,2 kg/ha ja 3) K 63,7 kg/ha.

Ühe hektari harimiseks vajamineva diislikoguse leidmiseks kasutati andmeid Karjase (2004b; 2005) uuringutest “Traktori sobivusuuringud 2004. aastal” ja “Traktorite tootlikkus ja masinakulu” ning Eesti Maaviljeluse Instituudis koostatud teraviljakombaini kulude arvutamise algoritmist (lisa 2).

Taimekaitses kasutatud preparaatide toimeainete leidmiseks kasutati Põllumajandusameti poolt hallatavat Taimekaitse registrit ja kasutusalaade leidmiseks Põllumajandusameti poolt välja antud trükist “Taimekaitsevahendid ja kasvuregulaatorid kasutamiseks Eesti Vabariigis 2012”.

Andmed diislikütuse, väetiste ja pestitsiidide tootmise kohta on leitud tarkvara SimaPro 7.3 abil Ecoinvent andmebaasidest.

Diislikütuse kasutamisest tekkivate emissiooni koguste leidmiseks kasutati LIPASTO kalkulatsiooni süsteemi (LIPASTO...).

Toiteelementide sisalduse leidmiseks rapsiseemnetes on kasutatud andmeid Eesti Põllumajandusülikooli poolt 2004. aastal välja töötatud tabelitest „Söötade keemilise koostise ja toiteväärtuse tabelid”. Toiteelementide sisalduse leidmiseks rapsipõhus on kasutatud andmeid Noormets (2007) uuringust “Rohtsete energiakultuuride uuringud” ja Tamm (2010) poolt kirjutatud artiklist “Rapsi tähtsus”.

Kõik katseandmed on jagatud viide (5) rapsi kasvatamise etappi järgnevalt:

- mullaharimine (traktori diislikulu sügisesel koorimisel, kündmisel, kultiveerimisel ja kevadisel kultiveerimisel);
- külvamine (traktori diislikulu ja seemned);
- väetamine (traktori diislikulu ja mulda lisatud toiteelemendid);
- taimekaitse (traktori diislikulu, herbitsiidide, insektitsiidide ja fungitsiidide kogused toimeainena);
- saagi koristamine (kombaini diislikulu ja seemnesaak).

Eelpool loetletud rapsi kasvatamise etappidele lisati SimaPro 7.3 arvutustesse emissioonid põllumaalt. Emissioonide koguste leidmiseks on kasutatud andmeid Kärblane *et al* (2002) uuringust „Taimetoitainete bilansist Eesti maaviljeluses”, Soosaar (2010) doktoritööst „Greenhouse gas fluxes in rural landscapes of Estonia” ja Andersen *et al.* (2001) uuringust “Ammonia emission from agriculture since the mid 80ies”.

Olelusringi hindamise meetod

Inventuuranalüüsi andmeid hinnati kasutades metoodikat Impact 2002+, kus mõju hinnatakse neljateistkümne mõjukategooria ja nelja kahjukategooria kaudu, mis on suuremas osas üle võetud EcoIndicator 99 ja CML 2002 meetoditest, välja arvatud ökotoksilisuse ja toksilisuse mõjukategooriad, mis on välja töötatud spetsiaalselt Impact 2002+ meetodi jaoks (ILCD käsiraamat 2010).

Käesolevas töös on keskpunkti mõjukategooriad ja keskpunkti referentsühikud järgmised (Humbert *et al.* 2012):

- toksilisus inimesele (kantserogeensed ja mittekantserogeensed ühendid), (ing k. *human toxicity* HT (*Carcinogens* HT(c), *Non-carcinogens* HT(nc)), ühik kg C₂H₃Cl ekv õhku;
- mõju hingamisteedele (orgaanilised ja mitteorgaanilised ühendid), (ing k. *respiratory effects* RE (*Respiratory inorganics* RE (anorg), *Respiratory organics* RE (org)), ühik kg C₂H₃Cl ekv õhku;
- ioniseeriv kiirgus, (ing k. *ionizing radiation* IR), ühik Bq C-14 ekv õhku;

- osoonikihi hõrenemine, (ing k *ozone layer depletion* OLP), ühik kg CFC-11 ekv õhku;
- ökotoksilisus veekeskkonnale, (ing k *aquatic ecotoxicity* AET), ühik kg TEG (trietüleen glükool) ekv vette;
- ökotoksilisus pinnasele, (ing k *terrestrial ecotoxicity* TET), ühik kg TEG (trietüleen glükool) ekv mulda;
- pinnase hapestumine/toitainetega rikastamine, (ing k *terrestrial acidification/nutrification* TA/N), ühik kg SO₂ ekv õhku;
- veekeskkonna hapestumine, (ing k *aquatic acidification* AA), ühik kg SO₂ ekv õhku;
- veekeskkonna eutrofeerumine, (ing k *aquatic eutrophication* AE), ühik kg PO₄³⁻ Plim ekv vette;
- maa hõivamine, (ing k *land occupation* LO), ühik m² haritavat maad/a;
- globaalne soojenemine, (ing k *global warming* GW), ühik kg CO₂ ekv õhku;
- taastumatud energiaallikad, (ing k *non-renewable energy* (n)RE), ühik MJ primaarenergiat või kg toornafta ekv. (860 kg/m³);
- mineraalide kaevandamine, (ing k *mineral extraction* ME), ühik MJ lisaenergiat või kg Fe ekv.

Erinevate ühendite keskkonnamõju võrdlemiseks teisendatakse kõik keskpunkti mõju-kategooriad kg ekvivalentideks ja seotakse nelja kahjukategooriaga (Humbert *et al.* 2012):

- inimtervis (ing k *human health*), ühik DALY (haigusega elatud aastad);
- ökosüsteemi kvaliteet (ing k *ecosystem quality*), ühik PDF (potentsiaalselt hävimis-ohus olevad liigid)* m²*a;
- kliimamuutus (ing k *climate change*), ühik kg CO₂ ekv;
- ressursid (ing k *resources*), ühik MJ.

Keskpunkti mõjukategooriate jagunemine kahjukategooriatesse on toodud joonisel 6



Joonis 6. Impact 2002+ meetodi raamistik ja mõjukategooriate jaotus keskpunkti kategooriatest kahjukategooriatesse (ILCD käsiraamat 2010).

Kahjukategooriate väärtuste leidmiseks korrutatakse keskpunkti mõjukategooriate väärtused läbi kahjustust väljendava tunnuseguriga ja tulemuste normaliseerimiseks kasutatakse taustsüsteemina 2000. aastal kogutud andmeid keskmise eurooplase poolt tekitatava mõju kohta keskpunkti mõjukategooriates (Humbert *et al.* 2012).

3. TULEMUSED JA ARUTELU

3.1 Inventuuranalüüs

3.1.1 Keskmise saagikus

Põllumajandustootmises sõltub saagikus paljudest teguritest: ilmastik, sisendite kasutamine, sordid jne. Selleks, et välistada juhuslikest kõikumistest tulenevaid erinevusi, valiti adekvaatse saagitaseme saamiseks pikaajalise katse käigus saadud tulemused.

Eestis kehtivad nii Euroopa Liidu (EL) sordileht kui ka soovitatud sordileht. Nende erinevus seisneb selles, et EL sordileht sisaldab kõikide liikmesriikide ja lisaks Norra ja Islandi sordilehtede sorte, põllukultuuride soovitatud sordilehes on aga Eesti tingimustesse sobivad sordid. Selleks, et sort arvataks soovitatud sordilehte, tuleb läbi viia juba sordilehes olevale sordile lisakatseaasta, mille käigus tehakse täiendavaid analüüse sordid viljelusväärtuse ja seemne omaduste kohta (Riiklike... 2012).

PMK Viljandi Katsekeskuse rapsikatse saagikuse osas võeti arvesse põllukultuuride soovitatud sordid aastatel 2007-2012, kasutati tabelis 1 toodud sortide saagikuse pikaajalisi andmeid. Välja jäid näiteks Eesti tingimustes katsetatavad uudsed sordid, mida testitakse mõnikord ainult ühel aastal ning mille tulemused võivad olla mõjutatud ilmastikust või muudest sellistest teguritest.

Kasutatavate sisendite ja väljundite kogused on teisendatud funktsionaalse ühiku (esmalt kg/ha ja siis kg/kg seemne) kohta. Aastate 2007-2012 keskmiseks saagikuseks põllukultuuride soovitatud sordilehe sortide keskmisena Viljandi katses on 3615 kg/ha.

Tabel 1. Põllukultuuride soovitatud sordilehe sordid aastatel 2007-2012, katsete läbiviimise aastad, teostatud katsete arv ja keskmine saagikus vaadeldavate aastate kohta (Riiklike...2007-2012).

Sort	Aastad	Katsete arv	Keskmine saagikus
Campino	2007-2011	5	3615.14
Haydn	2007-2010	4	3633.38
Heros	2007-2010	4	3382.25
Hunter	2007-2010	4	3596.75
Magma	2007-2010	4	3644.38
Mozart	2007-2008	2	3451.25
Larissa	2007-2012	6	3643.67
Proximo	2007-2012	6	3470.50
Brando	2007-2012	5	3687.20
Zappa	2007-2011	4	3519.75
Osorno	2008-2012	5	3574.60
Clipper	2008-2012	5	3543.20
Majong	2008-2012	5	3781.50
Fenja	2008-2012	5	3892.40
Stella	2009-2012	4	3612.25
Makro	2009-2012	4	3624.00
Achat	2009-2012	4	3852.13
Kaldera	2010-2012	3	3558.00

3.1.2 Mullaharimine

Käesolevas töös on arvesse võetud järgmised mullaharimise etapid: 1) koorimine (sügisel), 2) sügiskünd, 3) kultiveerimine (sügisel), 4) kultiveerimine (kevadel).

Suviraps vajab peeneseemnelise kultuurina hästi ettevalmistatud mulda (Kaarli, 2003). Selle tagamiseks tuleks eelmisest kultuurist mulla pinnale jäänud taimejäänused korralikult peenestada ja mullaga segada (Vettik&Võsa 2010). Mulla koorimine suurendab sademete muldafiltreerumist 2,5-3,2 korda, loob soodsad bioaktiivsed tingimused ja on ühtlasi ka tõhus agrotehniline võte ühe- ja mitmeaastaste juur-, võsund- ja seemneumbrohtude tõrjel (Rentam 2003), mistõttu on käesolevas töös koorimine mullaharimisprotsessina arvesse võetud.

Koorimisele järgneb sügiskünd, mille juures tuleks silmas pidada, et mullapind peaks jääma tasane, kuna kõrgemate künniviiluharjade vahekohtadel võib külvialus jääda kobedamaks ja kapillaarvee ülestõus takistatuks, mis omakorda võib põhjustada ebaühtlase tärkamise. Selliselt teostatud künd tuleks tasandada juba sügisel. (Kaarli 2003) Eelpooltoodud põhjustel on käesolevas töös arvesse võetud tasase mullapinna saavutamiseks tehtav sügisene kultiveerimine.

Kevadised mullaharimistööd on välja toodud ühe etapina, kuna tavatingimustes kasutatakse kevadistel mullaharimistöödel mullaharimisriistu, milles on järgmised lülid: 1) libisti, 2) S-piidega kultivaator (või 2-3 rida piisid) ja 3) rull (Kaarli 2003).

Põllumajandusmasinad

Karjase (2004b; 2005) uuringutest on käesoleva töö jaoks välja valitud traktor John Deere 6920 S (167hj/123kw), kuna vastav traktorimark on Statistikaameti andmetel Eestis eelistatuimate seas. Samuti on Karjane (2004a) toonud välja, et põllutööde puhul on eelistatud 160 hj (umbes 112-129 kw) traktor.

Traktori kütusekulu sõltub nii põllumajandusagregaadist kui ka mulla lõimisest, kuid täpsemate andmete puudumisel on käesolevas töös tuginetud Karjase (2004b; 2005) uurin-gutele ja kütusekulu traktorile on arvestatud vastavalt tabelile 2. Samuti on täpsemate andmete puudumisel koorimise ja väetamise kütusekulude kohta kasutatud andmeid ran-daalimise ning taimekaitse kohta, eeldusel et kütusekulus ei ole olulisi erinevusi.

Tabel 2. John Deere 6920S kütusekulu erinevatel maaharimistöödel (Karjane 2004b; 2005).

Töö nimetus	Haakemasin	Kütusekulu l/ha
		l/ha
Randaalimine	X-Press	7.2
Kündmine	Kuhn Vari-master 121	21.2
Kultiveerimine	Same K 8 S	3.6
Kevadkülv	Väderstad Rapid 400S	4.9
Taimekaitse		1.6

Kombaini kütusekulu leidmiseks on kasutatud Eesti Maaviljeluse Instituudi poolt koostatud teraviljakombaini kulude arvutamise algoritmi (lisa 2). Karjase (2007) poolt on välja

toodud, et aastatel 2002-2006 oli enimostetud kombaini võimsuseks 171-250 kW, sellest lähtuvalt on käesolevas töös valitud algoritmist 225 kW-le kombainile vastav kütusekulu, ehk 36 l/ha.

Kütusekulu liitrites on teisendatud kg/ha ja kg/kg rapsiseemne kohta (tabel 3), võttes aluseks diisli erikaalu 0,845 g/m³ (LIPASTO...).

Tabel 3. Kütusekulu l/ha teisendatuna kg/ha ja kg/kg rapsiseemne kohta. Mullaharimine sisaldab nelja- ja taimekaitse seitset masinakasutust.

Kütusekulu	l/ha	kg/ha	kg/kg
Mullaharimine	35.6	30.082	0.008321
Külvamine	4.9	4.1405	0.001145
Väetamine	1.6	1.352	0.000374
Taimekaitse	11.2	9.464	0.002618
Saagi koristamine	36	30.42	0.008415

3.1.3 Külvamine

Noormets *et al.* (2007) poolt on välja toodud, et rapsi optimaalne külvinorm on 200 idanevat seemet 1 m² (7-8 kg/ha) ja suured erinevused külvisenormis (150-450 idanevat seemet 1 m² kohta) ei põhjusta suuri erinevusi saagi suuruses. PMK Viljandi Katsekeskuses lähtutakse külvisenormi määramisel ristõieliste metoodikast, millest lähtuvalt idanevate seemnete arvuks m²-l on: suvirapsi populatsioonsordil 100, hübriidsordil 65 (Ristõielised...2012).

Külvisenormi määramiseks kasutatakse järgmist valemit:

$$\text{Külvisenorm (kg/ha)} = \text{idanevate seemnete arv m}^2 \text{ (tk)} \times 1000 \text{ tera mass (g)} \times 100 \\ \text{idanevus (\%)} \times \text{puhtus (\%)}$$

Kuna PMK Viljandi katsekeskuses külvatud suvirapsil esineb sorditi külvisenormi kõikumisi (3.62-4.14 kg/ha), siis on käesolevas töös aluseks võetud 2012. aasta külvisenormide aritmeetiline keskmine, milleks on 3,93 kg/ha.

3.1.4 Väetamine

PMK Viljandi Katsekeskuses kasutatakse ainult mineraalseid väetisi, orgaanilisi väetisi katselappidele ei laotata, samuti ei kasvatata liblikõielisi. Väetisenormide kindlaksmääramisel kasutatakse mullaanalüüse, mida on PMK Viljandi katsekeskuses tehtud igal aastal (2007-2012) enne katse rajamist (Riiklike...2007-2012). Mulda analüüsitakse järgmiste näitajate osas: orgaaniline süsinik %, ph, makro- ja mikroelemendid – P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, B, S (Ristõielised...2012).

2012. aastal on PMK Viljandi katsekeskuses mulda viidud üks kord enne kevadkülvim mineraalväetist $N-P_2O_5-K_2O (+S+Mg)+\text{boor (B)}$ (8-15-30 (+5+1,2) +0,02) 700 kg/ha, mille toiteelementide kogused hektarile on ära toodud tabelis 4.

Tabel 4. PMK Viljandi Katsekeskuse sordikatsetes kasutatud väetiste kogused 2012. aastal; toitelemendina, kg/ha kohta.

2012	N	P	K	Ca	S	B	Mg
kg/ha	119	18,2	63,7	0	98	0.14	8.4

3.1.4 Taimekaitse

Käesolevas töös on taimekaitsena käsitletud keemilist umbrohutõrjet, keemilist kahjuritõrjet ja -haiguste tõrjet.

Herbitsiidid

2012. aastal kasutati umbrohutõrjeks (tabel 5) preparaati Galera, mis on ette nähtud kaheiduliste umbrohtude tõrjeks rapsil ja preparaati Agil, mis on ette nähtud lühiajaliste kõrreliste umbrohtude ja orasheina tõrjeks kaheidulehelistel kultuuridel. (Taimekaitsevahendid...2012).

Tabel 5. PMK Viljandi Katsekeskuse sordikatsetes kasutatud herbitsiidide kogused; l/ha, kg/ha ja kg/kg rapsiseemne kohta (Riiklike...).

Preparaat	Ühik	Kogus	Toimeaine	Ühik	Kogus	kg/ha	kg/kg
Galera	l/ha	0.35	klopüraliid	g/l	267	0.09345	0.00002585
Agil 100 EC	l/ha	1	propakvisafop	g/l	100	0.1	0.00002766

Fungitsiidid

2012. aastal kasutati haigustetõrjeks (tabel 6) preparaati Tilmor, mis on ette nähtud rapsi haiguste kompleksi tõrjeks (Taimekaitsevahendid...). Kasvuaegset haigustõrjet on tehtud üks kord esimeste haiguskollete ilmnemisel (Ristõielised...2012).

Tabel 6. PMK Viljandi katsekeskuse sordikatsetes kasutatud fungitsiidi kogus l/ha, kg/ha ja kg/kg rapsiseemne kohta (Riiklike...).

Preparaat	Ühik	Kogus	Toimeaine	Ühik	Kogus	kg/ha	kg/kg
Tilmor	l/ha	0.7	protiokonasool	g/l	80	0.056	0.00001549

Insektitsiidid

2012. aastal kasutati kahjuritõrjeks (tabel 7) preparaate Fastac 50, Proteus 1000 ja Desis Mega, millest esimene on ettenähtud karilaste, ripslaste ja lehetäide- ning teised on kahjurite kompleksi tõrjeks (Taimekaitsevahendid...).

Tabel 7. PMK Viljandi Katsekeskuse sordikatsetes kasutatud insektitsiidide kogus; l/ha, kg/ha ja kg/kg rapsiseemne kohta (Riiklike...).

Preparaat	Ühik	Kogus	Toimeaine	Ühik	Kogus	kg/ha	kg/kg
Fastac 50	l/ha	0.2	alfa-tsüpermetriin	g/l	50	0.01	0.00000277
Proteus 1000	l/ha	0.7	tiaklopriid	g/l	100	0.07	0.00001936
			deltametriin	g/l	10	0.007	0.00000194
Desis Mega	l/ha	0.05	deltametriin	g/l	50	0.0025	0.00000069
Desis Mega	l/ha	0.15	deltametriin	g/l	50	0.0075	0.00000207

3.1.4 Emissioonid

Rapsi kasvatamisest tulenevad emissioonid hõlmavad emissioone õhku, vette ja mulda. Diislikütuse kasutamisest tulenevad emissioonid on arvutatud LIPASTO kalkulatsiooni-koefitsientidega farmi traktorite ja kombainide kohta (tabel 12).

Lämmastiku tasakaal rapsi kasvatamisel

Lämmastikubilansi koostamiseks põllul on vaja eelnevalt teada järgmisi andmeid: 1) rapsi keskmine saagikus, 2) põllule jäetava purustatud rapsipõhu kogus ja 3) lämmastiku kogus seemnetes ja põhus (tabelid 8 ja 9).

Põllule jäetava põhu kogus on arvestatud võttes aluseks Tamme (2010) poolt toodud suhtarvu 2,9 tonni põhku 1 tonni seemne kohta, mis teeb põllule jäetava põhu koguseks 10484 kg/ha. Lämmastikuisalduseks rapsipõhus on Tamme (2010) väitel 4-5 kg/t, mis teeb põhu N sisalduseks 52 kg/ha.

Lämmastikuisaldus on EPMÜ (2004) söödatabelite andmetel rapsiseemnetes on 3.6% kuivainest. Kuivaine sisaldus rapsiseemnetes on 88%, mis teeb 3615 kg rapsiseemne kohta 3181 kg kuivainet, mille N sisaldus on 115 kg.

Tabel 8. Lämmastiku tasakaalu arvutamisel aluseks olevad parameetrid.

Parameeter	Kogus	Ühik
Saak	3615	kg/ha
Taimejäänused	10484	kg/ha
Eemaldatav põhk	0	kg/ha
Põhk põllule	10484	kg/ha
N-sisaldus seemnetes	0.03181	kg/kg
N-sisaldus põhus	0.0145	kg/kg

Tabel 9. Lämmastiku tasakaal rapsipõllul, ühe hektari kohta.

Sisend kg N/ha	Kogus
sademe N	3
N seemnetes	0.1
N väetises	119
KOKKU	122.1
Väljund kg N/ha	Kogus
N koristatud seemnetes	115.0
N eemaldatud põhus	0.0
KOKKU	115.0
Tasakaal/N liig	
Sisend - väljund	7.1

Fosfori tasakaal rapsi kasvatamisel

Fosfori tasakaal on leitud samadele andmeallikatele tuginedes nagu lämmastiku puhul, arvestades, et rapsipõhus on fosforit 0,9-1,3 kg/t ja rapsiseemnetes 0,8% kuivainest (tabelid 10 ja 11).

Tabel 10. Fosfori tasakaalu arvutamisel aluseks olevad parameetrid.

Parameeter	Kogus	Ühik
Saak	3615	kg/ha
Taimejäänused	10484	kg/ha
Eemaldatav põhk	0	kg/ha
Põhk põllule	10484	kg/ha
P-sisaldus seemnetes	0.0069156	kg/kg
P-sisaldus põhus	0.00377	kg/kg

Tabel 11. Fosfori tasakaal rapsipõllul, ühe hektari kohta.

Sisend kg N/ha	Kogus
N seemnetes	0.03
N väetises	18.2
KOKKU	18.2
Väljund kg N/ha	Kogus
N koristatud seemnetes	25.0
N eemaldataud põhus	0.0
KOKKU	25.0
Tasakaal/N liig	
Sisend - väljund	-6.8

Väetistega antud toiteelementidest omastavad taimed ainult osa, ülejäänud toiteelemendid kas leostuvad, lenduvad või uhutakse mullast välja. Käesolevaks tööks vajaminevate suvirapsi kasvatamisest tekkivate väljundite leidmisel kerkis esile rida probleeme, nagu näiteks toiteelementide sisalduste (taime, mullas) leidmine ja emissioonide koguste arvutamine. Kuna uuemaid kirjandusallikaid teostatud uuringute kohta ei leitud, konsulteeriti nii õlikultuuridega tegelevate asutustega (Põllumajandusamet, Põllumajandus-uuringute Keskus, Jõgeva Sordiaretuse Instituut jne) kui ka ülikoolide juures

rapsiuuringutega tegelevate teaduritega. Selgus, et uuringuid toiteelementide leostumise, lendumise jne kohta kas ei olnud viimastel aastatel teostatud või siis ei olnud nende tulemused kohaldatavad käesolevas uuringus. Samuti ei ole analüüside kõrge hinna tõttu teostatud analüüsi toiteelementide sisalduse kohta rapsiseemnetes ja rapsipõhus või on need tellijate omanduses ja ei ole käesoleva uuringu koostajale kättesaadavad.

Eelpooltoodud asutuste ja teadurite soovitusel kasutati Kärblane *et al.* (2002) andmeid, kuigi need on väga üldised, põhinevad üheksakümnendate aastate uuringutel ja erinevad mujal maailmas väljatoodutest. Astover *et al.* (2013) on näiteks välja toonud, et Rootsis tehtud uuringud näitavad tavatootmise puhul lämmastiku leostumiseks 18% ja Norras 11-36% mulda viidud lämmastikukogusest, samas kui Kärblane *et al.* (2002) andmetel on see 1,5%. Lähtudes sellest, et leostumise suurus sõltub mullatüübist, maakasutusviisist jms teguritest, mida käesolevas töös ei ole arvesse võetud, on eeldatud et kõikide keskmiste andmete kohta üldistatuna on antud andmed usaldusväärsed.

Väetamisest lähtuvad emissioonid on arvatud Eesti keskmiste näitajate põhjal, võttes aluseks Kärblane *et al.* (2002) uuringus välja toodud andmeid toitainete lendumise ja leostumise kohta. Toitainete kadu leostumise teel on arvatud järgnevalt:

- 1,5 % väetisega antud lämmastikust, mis teeb 1,79 kg N ha (0.0004952 kg/kg);
- 0,2 % väetisega antud fosforist, mis teeb 0.036 kg P ha (0.0000100 kg/kg) ja
- 4 % väetisega antud kaaliumist, mis teeb 2.5 kg K ha (0.0006916 kg/kg).

Astover *et al.* (2012) toob välja, et fosfori kadu mullast leostumise teel on enamasti väike (alla 0,5%) ning arvestatav kadu võib toimuda ainult erosiooniga (alla 1%) ja järjepideva negatiivse fosforibilansi korral.

Toitainete kadu erosiooni teel on arvatud lähtuvalt Kärblane *et al.* (2002) andmetest järgnevalt:

- 1,0 % väetisega antud lämmastikust, mis teeb 1,19 kg N ha (0.0003292 kg/kg);
- 0,3 % väetisega antud fosforist, mis teeb 0.0546 kg P ha (0.0000151kg/kg) ja
- 0.8 % väetisega antud kaaliumist, mis teeb 0.5096 kg P ha (0.0001410 kg/kg).

CO₂, N₂O ja CH₄ emissioonide leidmiseks haritava maa kohta on kasutatud andmeid Soosaar (2010) doktoritööst järgnevalt:

- CO₂ – C emissioon on 3054 kg/ha/aastas, millest CO₂ on 2399,57 kg/ha/aastas;
- CH₄ – C emissioon on 0,3 kg/ha/aastas, millest CH₄ on 0,17 kg/ha/aastas;
- N₂O – N emissioon on 1,4 kg/ha/aastas, millest N₂O on 1,06 kg/ha/aastas.

Käesoleva töö raames on peetud oluliseks arvestada ka NH₃ emissiooni, mille kohta puuduvad Eestis usaldusväärsed andmed. NH₃ emissioon on arvutatud Andersen *et al.* (2001) andmete põhjal Taani kohta, kus emissioon taimedest on 5 kg NH₃/ha/aastas ning mullast 2% antud N väetise kogusest. Mikroelementide emissioone ei ole käesolevas töös arvesse võetud.

Diislikütuse, väetiste ja taimekaitsevahendite tootmisest tulenevad mõjud on võetud tarkvaras SimaPro 7.3 kasutada olevast Ecoinvent andmebaasist, kuna Eesti kohta vastavaid andmeid ei ole. Tootmise keskkonnamõjude arvestamisel on kaasatud kõik tegevused toormaterjalist kuni lõpptooteni (diiselmootor, väetis). Nii diisli kui väetiste korral ei ole transpordikuludid tarbijani arvesse võetud.

Kuigi suvirapsi kasvatamisega on seotud rohkem mullas toimuvaid protsesse, nagu näiteks süsinikuringe, nitrifikatsioon, denitrifikatsioon jne, ei ole neid käesolevas töös usaldusväärsete andmete puudumisel arvestatud.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et Eesti teadlastel on palju väljakutseid emissioonide uurimise vallas, kuna tulevikus pööratakse järjest enam tähelepanu erinevate tootmisviiside olelusringide hindamistele. Täpsete andmete omamine emissioonide kohta põllu tasandil võimaldaks hinnata ka erinevate maaharimisviiside mõju ja erinevusi mullatüüpide vahel. Antud ajahetkel on võimalik arvutada teatud emissioone ka IPCC (2006) meetodika alusel, kuid see on liiga üldistav ega anna tegelikku olukorda kajastavaid andmeid.

3.1.5 Suvirapsi kasvatamise inventuuranalüüsi tulemuste kokkuvõte

Tabel 12. Suvirapsi kasvatamise inventuuranalüüsi tulemuste kokkuvõte.

	MULLAHARIMINE		KÜLVAMINE		VÄETAMINE		TAIMEKAITSE		SAAGI KORISTAMINE		Allikas
	kg/ha	kg/kg	kg/ha	kg/kg	kg/ha	kg/kg	kg/ha	kg/kg	kg/ha	kg/kg	
Diisli tarbimine	30.082	0.0083	4.1405	0.0011	1.352	0.0004	9.464	0.0026	30.42	0.0084	Karjane <i>et al.</i> (2004b, 2005)
Emissioonid diisli kasutamisest CO	249.6806	0.0691	34.3662	0.0095	11.2216	0.0031	78.5512	0.0217	222.066	0.0614	LIPASTO..
CO₂	78935.168	21.8355	10864.672	3.0054	3547.648	0.9814	24833.536	6.8696	79304.94	21.9377	LIPASTO..
CH₄	4.5123	0.0012	0.6211	0.0002	0.2028	0.0001	1.4196	0.0004	4.563	0.0013	LIPASTO..
NO_x	661.804	0.1831	91.091	0.0252	29.744	0.0082	208.208	0.0576	638.82	0.1767	LIPASTO..
N₂O	2.1659	0.0006	0.2981	0.0001	0.0937	0	0.6814	0.0002	2.1598	0.0006	LIPASTO..
SO₂	0.5114	0.0001	0.0704	0	0.023	0	0.1609	0	0.5171	0.0001	LIPASTO..
HC	84.2296	0.0233	11.5934	0.0032	3.7856	0.001	26.4992	0.0073	69.966	0.0194	LIPASTO..
PM	36.0984	0.01	4.9686	0.0014	1.6224	0.0004	11.3568	0.0031	30.42	0.0084	LIPASTO..
Herbitsiidid							0.0935	0.000026			Riiklike ... (2012)
Insektitsiidid							0.097	0.000027			Riiklike ... (2012)
Fungitsiidid							0.056	0.000015			Riiklike ... (2012)
Väetis: N					119	0.032918					Riiklike ... (2012)
P					18.2	0.005035					Riiklike ... (2012)
K					63.7	0.017621					Riiklike ... (2012)
Toitainete leostumine: N_{tot}					2.975	0.000823					Kärblane <i>et al.</i> (2002)
P_{tot}					0.0906	0.000025					Kärblane <i>et al.</i> (2002)
K					3.0576	0.000846					Kärblane <i>et al.</i> (2002)

Tabel järgneb järgmisel leheküljel

Järg tabelile 12.

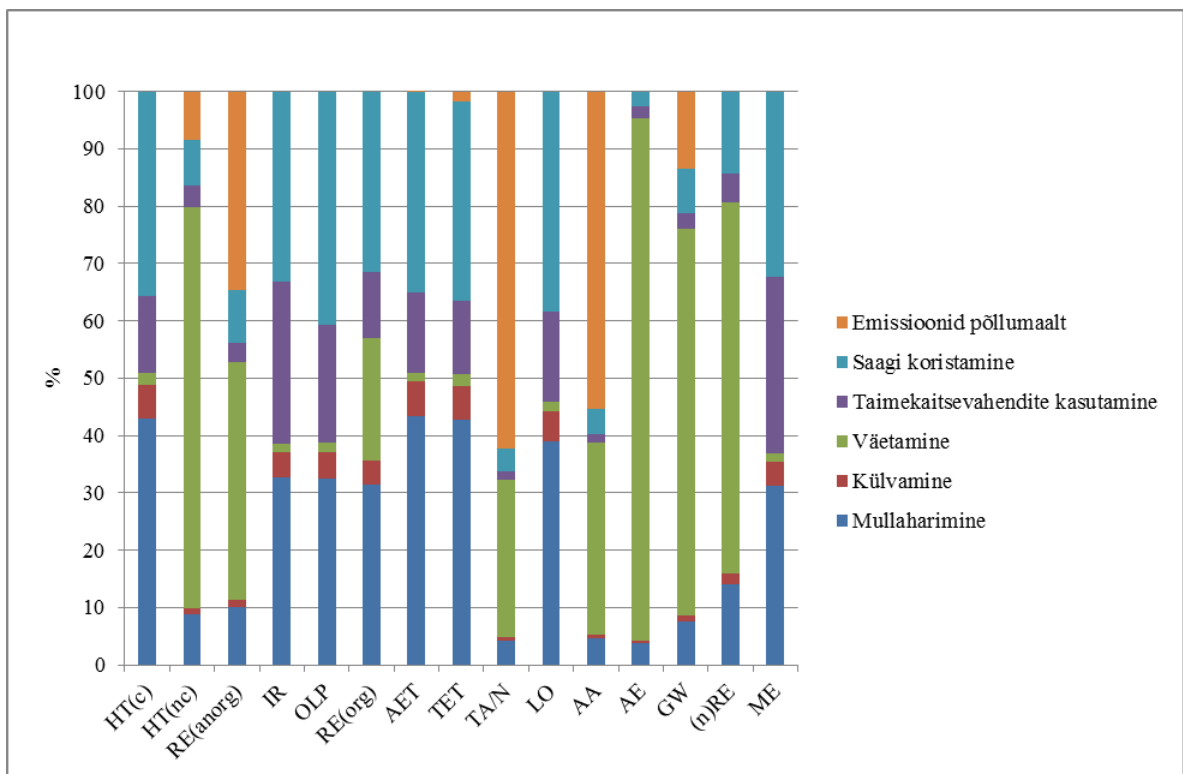
			MULLAHARIMINE		KÜLVAMINE		VÄETAMINE		TAIMEKAITSE		SAAGI KORISTAMINE		Allikas
			kg/ha	kg/kg	kg/ha	kg/kg	kg/ha	kg/kg	kg/ha	kg/kg	kg/ha	kg/kg	
Rapsiseeme	kg/ha				3.93						3615		Riiklike ... (2012)
	kg/kg				0.001087						1		Riiklike ... (2012)
Maakasutus			1	0.000277	1	0.000277	1	0.000277	1	0.000277	1	0.000277	
Emissioonid põllumaalt:	CO₂	kg/ha											Soosaar (2010)
		kg/kg											
	N₂O	kg/ha											Soosaar (2010)
		kg/kg											
	CH₄	kg/ha											Soosaar (2010)
		kg/kg											
	NH₃	kg/ha											Andersen <i>et al.</i> (2001)
		kg/kg											

3.2 Suvirapsi kasvatamise keskkonnamõjude hindamise tulemused Impact 2002+ meetodiga

Suvirapsi kasvatamise olelusringi hindamisel liigitatakse LCI tulemused mõju-kategooriatesse (joonis 6) ja liidetakse ühistegurisse teisendatuna indikaatortulemuse saamiseks, mis omakorda on lõpptulemuse saamiseks normaliseerimise käigus jagatud taustväärtusega. (SimaPro 6 2004)

3.2.1 Suvirapsi kasvatamise keskkonnamõjude hindamise tulemused ühe hektari põllumaa kohta

Joonisel 7 ära toodud iseloomustamise tulemustest selgub, et enamikes keskpunkti mõju-kategooriates on üheks suurima osakaaluga etapiks väetamine või mullaharimine.



Joonis 7. Iseloomustamine Impact 2002+ meetodiga ühe hektari põllumaa kohta; Y-teljel protsentuaalne osa kogumõjust, X-teljel keskpunkti mõjukategooriad.¹

¹ HT(c) kantserogeenid, HT(nc) mittekantserogeenid, RE(anorg) anorgaaniliste ainete mõju hingamisteedele, IR ioniseeriv kiirgus, OLP osoonikihi hõrenemine, RE(org) orgaaniliste ühendite mõju hingamisteedele, AET ökotoksilisus veekeskkonnale, TET ökotoksilisus veekeskkonnale, TA/N pinnase hapestumine/toitainetega rikastumine, LO maa

Väetamisel, mis sisaldab nii väetiste (NPK) ja diislikütuse tootmisest tulenevaid keskkonnamõjusid kui ka väetiste ning diislikütuse kasutamisest tulenevaid emissioone (lisa 3), on suurim osakaal sellistes mõjukategooriates nagu veekeskkonna eutrofeerumine (90.98%), mitte-kantserogeensete ühendite toksilisus inimesele (69.94%), globaalne soojenemine (67.46%), taastumatud energiaallikad (64.55%) ja anorgaaniliste ühendite mõju hingamisteedele (41.44%).

Mullaharimisel, mille mõjud keskkonnale tulenevad diislikütuse tootmisest ja kasutamisest (lisa 4) on suurim osakaal sellistes mõjukategooriates nagu ökotoksilisus veekeskkonnale (43.40%), kantserogeensete ühendite toksilisus inimesele (42.93%), ökotoksilisus pinnasele (42.81%) ja maa hõivamine (38.89%).

Saagi koristamisel, mille mõjud keskkonnale tulenevad samuti diislikütuse tootmisega seotud keskkonnamõjudest ja diislikütuse kasutamisega seotud emissioonidest, on suurim osakaal mõjukategooriates osoonkihi hõrenemine (40.64%), anorgaaniliste ühendite mõju hingamisteedele (31.43%) ja mineraalide kaevandamine (32.31%). Saagi koristamisest tulenevate keskkonnamõjude osakaalud ei ole teistes mõjukategooriates küll suurimad, kuid moodustavad siiski olulise osa. Nii on saagi koristamise osakaal mõjukategooriates maa hõivamine 37.10%, kantserogeensete ühendite toksilisus inimesele 34.25%, ökotoksilisus veekeskkonnale 33.45% ja ökotoksilisus pinnasele 33.34%.

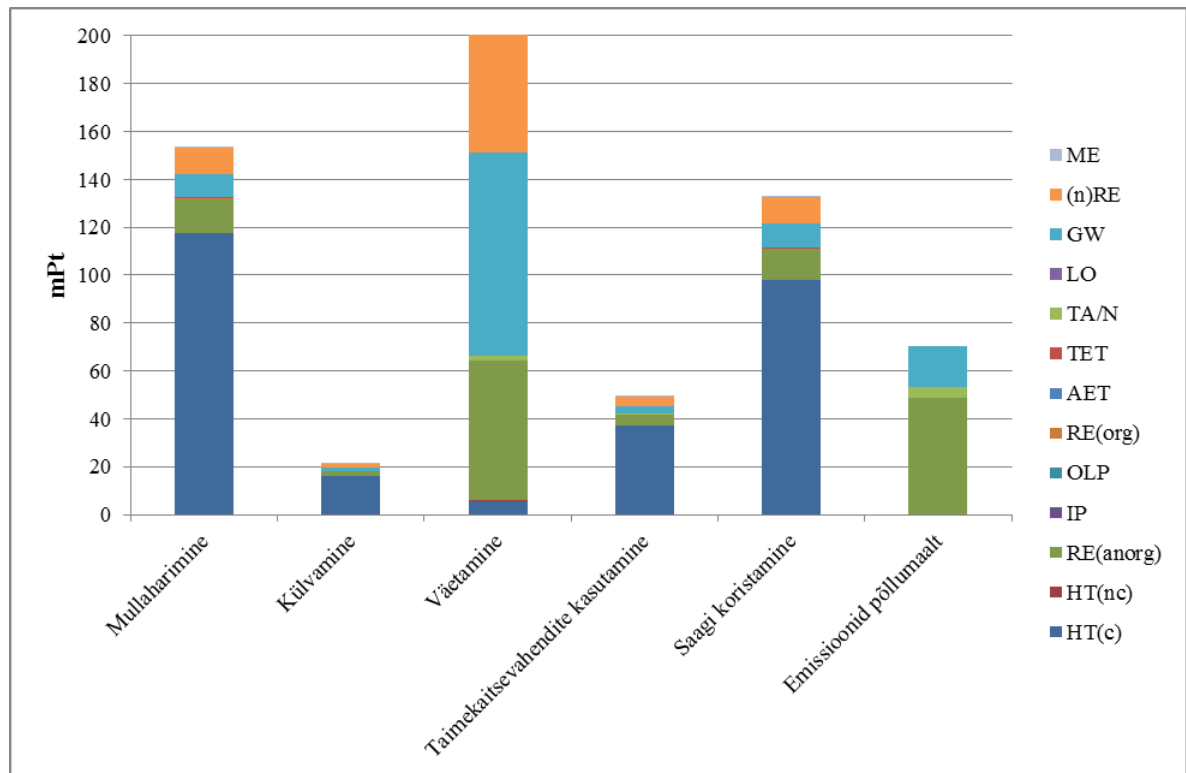
Emissioonidel põllumaalt (CO_2 , CH_4 , N_2O ja NH_3) on suurim osakaal sellistes mõjukategooriates nagu pinnase hapestumine/toitainetega rikastumine (62.68%) ja veekeskkonna hapestumine (55.43%).

Taimekaitsel, mille mõjud keskkonnale tulenevad diislikütuse ja taimekaitsevahendite (herbitsiidid, fungitsiidid, insektitsiidid) tootmisega seotud keskkonnamõjudest ja diislikütuse kasutamise emissioonidest (lisa 5), ei ole üheski mõjukategoorias suurimat osakaalu, kuid oluliseimad mõjud on mineraalide kaevandamisele (30.83%), ioniseerivale kiirgusele (28.18%) ja osoonkihi hõrenemisele (20.53%).

hõivamine, AA veekeskkonna hapestumine, AE veekeskkonna eutrofeerumine, GW globaalne soojenemine, (n)RE taastumatud energiaallikad, ME mineraalide kaevandamine

Käesolevas töös ei ole Eesti keskkonnatingimustesse sobivate andmete puudumise tõttu arvestatud taimekaitsevahenditest tulenevaid emissioone, kuid kuna PMK Viljandi Katsekeskuse katsetes kasutatud kogused ei ole suured, tulenevad peamised keskkonnamõjud diisli tootmisest ja kasutamisest (lisa 5).

Joonisel 8 on ära toodud suvirapsi kasvatamise olelusringi hindamise tulemused pärast normaliseerimist ja kaalumist. Normaliseerimise taustsüsteemiks Impact 2002+ meetodi puhul on ühe keskmise eurooplase kohta arvutatud emissioonide hulk (Humbert *et al.* 2012). Mõjukategooriates ei näidata pärast normaliseerimist veekeskkonna hapestumise ega veekeskkonna eutrofeerimise tulemusi, kuna vastavate tunnustegurite väljatöötamine ei ole veel lõpetatud.



Joonis 8. Normaliseerimine Impact 2002+ meetodiga ühe hektari põllumaa kohta; Y-teljel normaliseeritud keskpunkti mõjukategooria väärtus, X-teljel suvirapsi kasvatamise etapid.

Tulemused näitavad, et sellistes suvirapsi kasvatamise etappides mille mõju keskkonnale põhineb peamiselt diisli tootmisel ja kasutamisel (peamiselt PM_{2.5}, SO₂ ja NO_x emis-

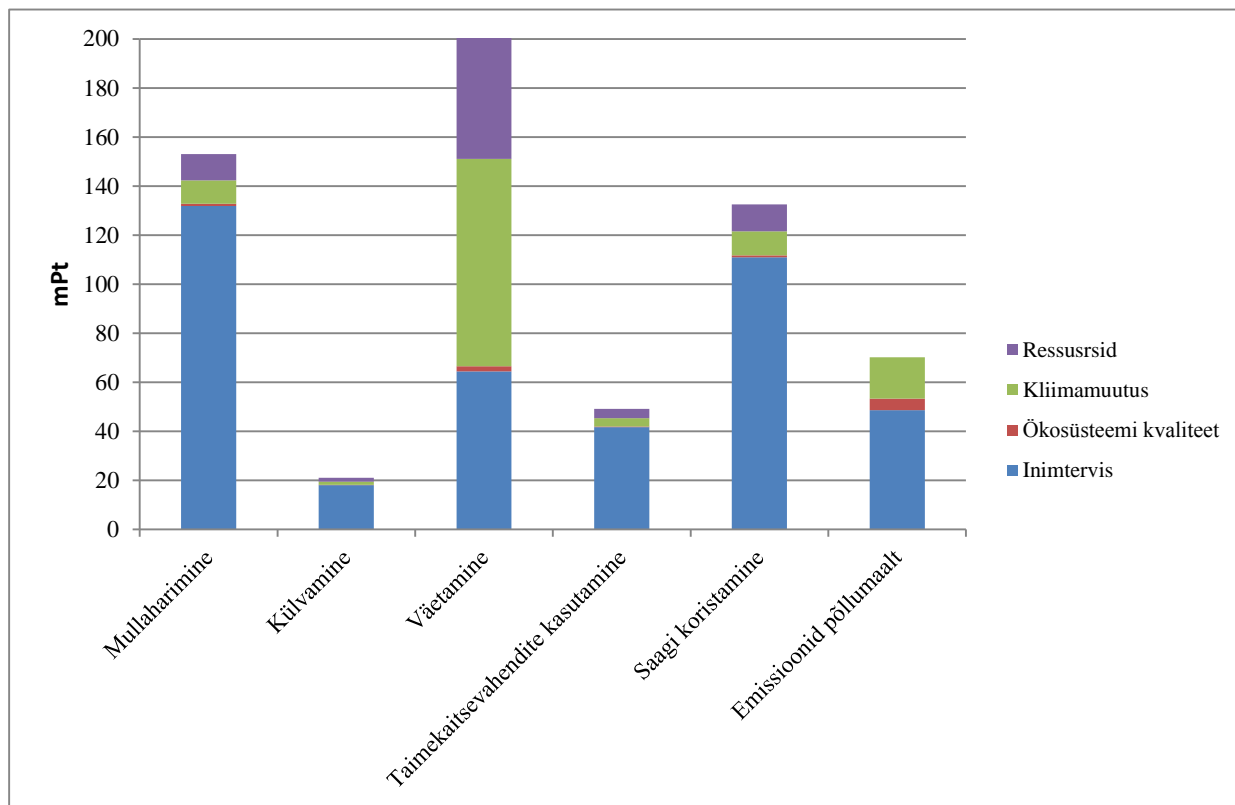
sioonidest), nagu mullaharimine, saagi koristamine, külvamine ja taimekaitsevahendite kasutamine on suure väärtusega mõjukategooria kantserogeensete ühendite toksilisus inimesele

Suure kütusetarbimise ja sellest tulenevate keskkonnamõjude põhjuseks Eestis on intensiivne mullaharimine rapsikasvatusel, mille käigus on tehtavateks töödeks kündmine ja künnijärgne korduv pindmine mullaharimine (Viil 2012). Korduvate mullaharimisoperatsioonide käigus kasutatakse rohkem kütust, millest omakorda tekib rohkem emissioone.

Milazzo *et al.* (2013) ja Iriarte *et al.* (2011) on oma uuringutes välja toonud, et väetamisel on kõige suurem keskkonnamõju. Samasuguse tulemuseni jõuti ka käesolevas töös. Joonisel 8 on näha, et väetamine, mille mõjud keskkonnale tulenevad NPK väetiste tootmise- ja kasutamisega seotud mõjudest ning emissioonidest (toitelementide leostumine, väljauhtumine, N₂O lendumine) ja diisli tootmise- ja kasutamisega seotud mõjudest ning emissioonidest (peamiselt PM_{2.5}, SO₂ ja NO_x) on suurima keskkonnamõjude väärtusega suvirapsi kasvatamise etapp.

Eelpooltoodud põhjustel on suurima väärtusega mõjukategooria väetamise puhul globaalne soojenemine, järgnevad anorgaaniliste ühendite mõju hingamisteedele ja taastumatute energiate kasutamine.

Selleks, et paremini mõista potentsiaalset keskkonnamõju avaldumist nii elusale kui ka eluta loodusele on keskpunkti mõjukategooriad teisendatud kahjustusi väljendavateks kahjukategooriateks (joonis 9).



Joonis 9. Kahjude hindamine Impact 2002+ meetodiga ühe hektari kohta; Y-teljel protsentuaalne osa kogumõjust, X-teljel kahjukategooriad.

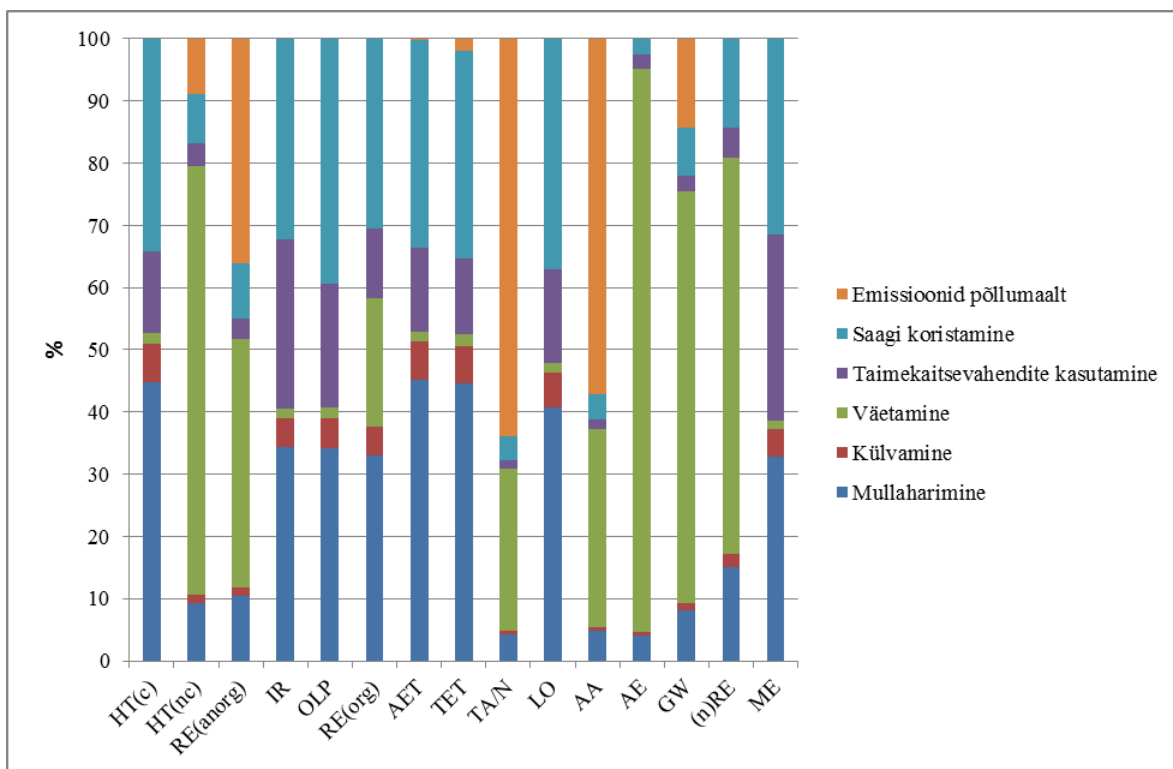
Jooniselt 9 on näha, et enamikel suvirapsi kasvatamise etappidel on valitud taustväärtuse puhul suurim mõju inimtervisele. Erandina saab välja tuua siinkohal väetamise, kus suurim mõju on kliimamuutusele. Järgmisena võib välja tuua kahjukategooria ressursid, mille puhul mõjud ei ole küll nii kõrge väärtusega kui inimtervis, kuid siiski olulised sellistes etappides kus kasutatakse taastumatut loodusvara ja/või kaevandatavaid mineraale (mullaharimine, külvamine, väetamine, taimekaitse kasutamine, saagi koristamine).

Sellistes suvirapsi kasvatamise etappides, nagu mullaharimine, külvamine, taimekaitse ja saagi koristamine, kus peamine mõju keskkonnale tuleneb diislikütuse kasutamisest ja tootmisest on olulisem mõjukategooria kantserogeensete ühendite toksilisus inimesele. Teine oluline mõjukategooria eelpooltoodud etappides on anorgaaniliste ühendite mõju hingamisteedele, mis on peamiseks mõjukategooriaks ka emissioonides põllumaalt. Väetamise puhul on suurima väärtusega mõjukategooria globaalne soojenemine.

3.2.2 Suvirapsi kasvatamise keskkonnamõjude hindamise tulemused ühe kilogrammi rapsiseemne kohta

Suvirapsi kasvatamise olelusringi hindamise tulemused ühe kilogrammi kohta ei erine oluliselt ühe hektari põllumaa kohta saadud tulemustest

Joonisel 10 toodud tulemustest selgub et väetamisel ja mullaharimisel on enamikes keskpunkti mõjukategooriates suur osakaal.



Joonis 10. Iseloomustamine Impact 2002+ meetodiga ühe kilogrammi rapsiseemne kohta; Y-teljel protsentuaalne osa kogumõjust, X-teljel keskpunkti mõjukategooriad.²

Väetamisel on kogumõjust suurim osakaal sellistes mõjukategooriates nagu veekeskkonna eutrofeerumine (90.63%), mitte-kantserogeensete ühendite toksilisus inimesele (68.88%),

² HT(c) kantserogeenid, HT(nc) mittekantserogeenid, RE(anorg) anorgaaniliste ainete mõju hingamisteedele, IR ioniseeriv kiirgus, OLP osoonikihi hõrenemine, RE(org) orgaaniliste ühendite mõju hingamisteedele, AET ökotoksilisus veekeskkonnale, TET ökotoksilisus veekeskkonnale, TA/N pinnase hapestumine/toitainetega rikastumine, LO maa hõivamine, AA veekeskkonna hapestumine, AE veekeskkonna eutrofeerumine, GW globaalne soojenemine, (n)RE taastumatud energiaallikad, ME mineraalide kaevandamine

globaalne soojenemine (66.24%), taastumatud energiaallikad (63.69%) ja anorgaaniliste ühendite mõju hingamisteedele (39.89%).

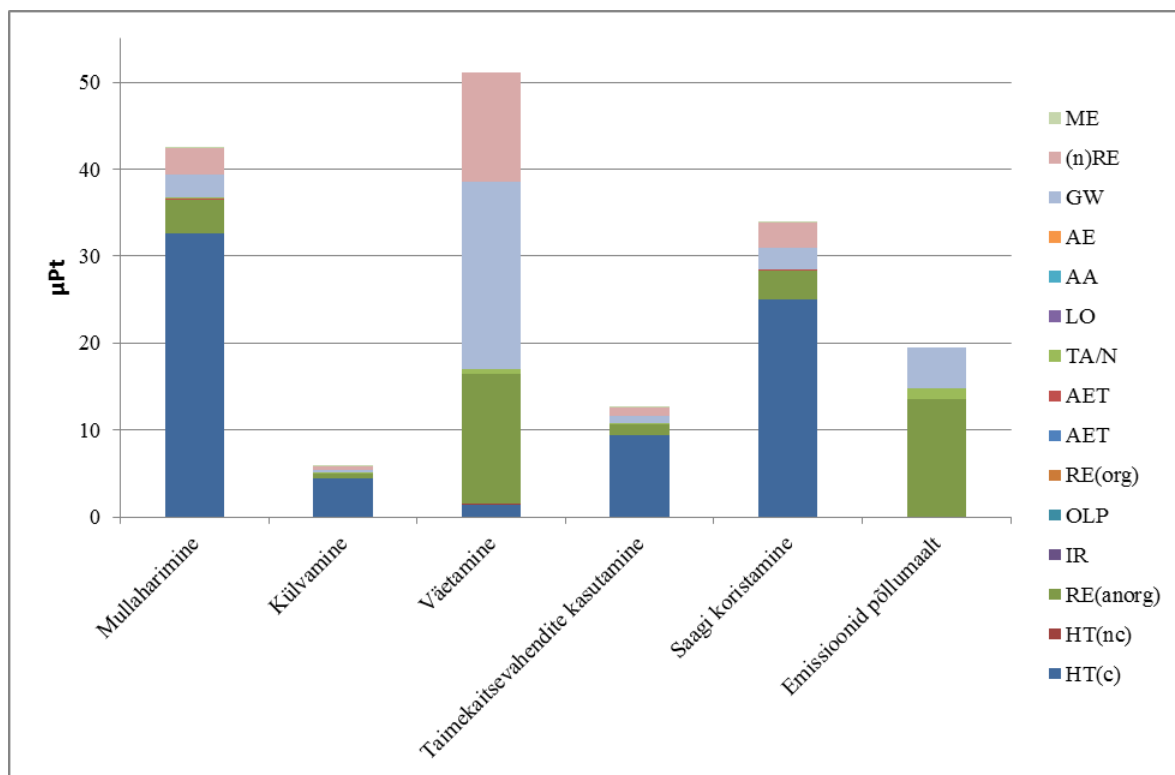
Mullaharimisel on suurim osakaal sellistes mõjukategooriates nagu ökotoksilisus veekeskkonnale (45.19%), kantserogeensete ühendite toksilisus inimesele (44.72%), ökotoksilisus pinnasele (44.53%), maa hõivamine (40.65%), ioniseeriv kiirgus (34.30%) ja mineraalide kaevandamine (32.79%).

Saagi koristamisel on suurim osakaal osoonikihi hõrenemise mõjukategoorias (39.40%). Saagi koristamisest tulenevate keskkonnamõjude osakaalud ei ole teistes mõjukategooriates küll suurimad, kuid moodustavad siiski märkimisväärse osa. Nii on saagi koristamise osakaal mõjukategooriates maa hõivamine 37.10%, kantserogeensete ühendite toksilisus inimesele 34.25%, ökotoksilisus veekeskkonnale 33.45% ja ökotoksilisus pinnasele 33.34%.

Emissioonidel põllumaalt (CO_2 , CH_4 , N_2O ja NH_3) on suurim osakaal sellistes mõjukategooriates nagu pinnase hapestumine/toitainetega rikastumine (63.93%) ja veekeskkonna hapestumine (57.20%).

Taimekaitse vahendite kasutamisel ei ole üheski mõjukategoorias suurimat osakaalu, kuid oluliseimad on mineraalide kaevandamine (29.91%), ioniseeriv kiirgus (27.33%) ja osoonikihi hõrenemine (19.92%).

Joonisel 11 on ära toodud suvirapsi kasvatamise olelusringi hindamise tulemused pärast normaliseerimist ja kaalumist.

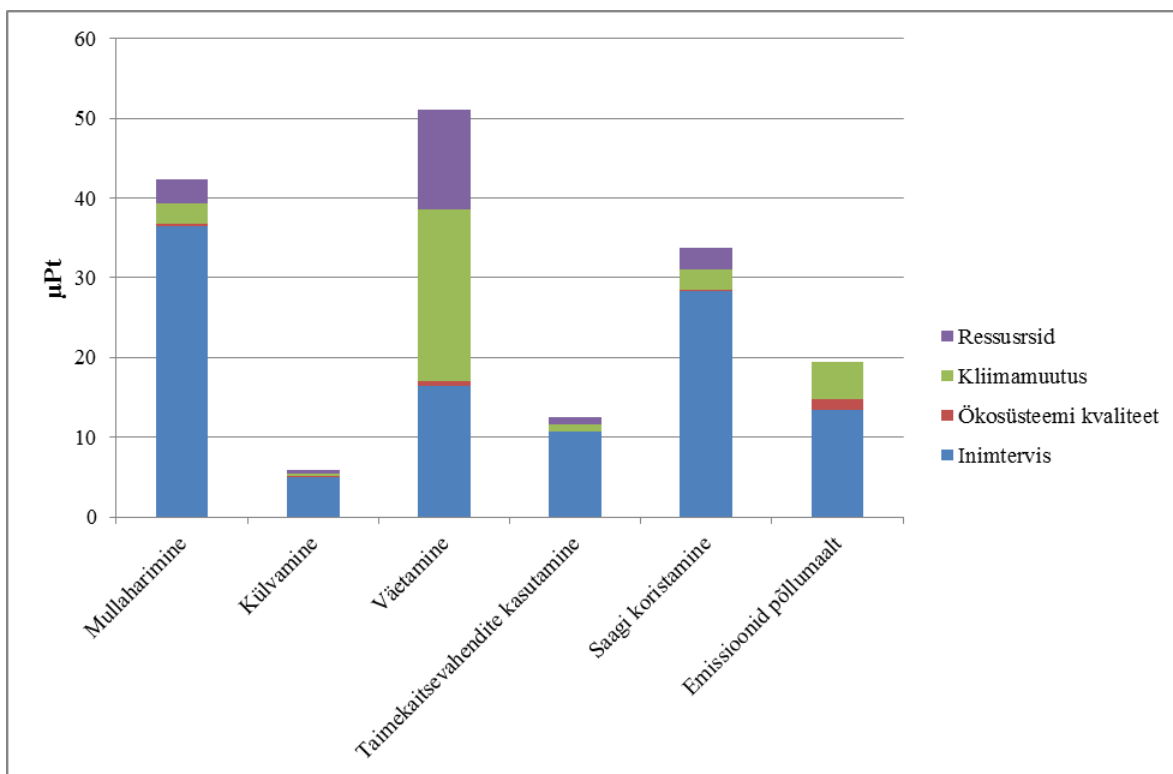


Joonis 11. Normaliseerimine Impact 2002+ meetodiga ühe kilogrammi rapsiseemne kohta; Y-teljel normaliseeritud kahjukategooria väärtus, X-teljel suvirapsi kasvatamise etapid.

Joonisel 11 võib näha et sellistes suvirapsi kasvatamise etappides mille mõju keskkonnale põhineb peamiselt diisli tootmisel ja kasutamisel (peamiselt PM_{2.5}, SO₂ ja NO_x emissioonidest), nagu mullaharimine, saagi koristamine, külvamine ja taimekaitsevahendite kasutamine, on suure väärtusega mõjukategooria kantserogeensete ühendite toksilisus inimesele.

Väetamisel on suurima väärtusega mõjukategooria globaalne soojenemine, järgnevad anorgaaniliste ühendite mõju hingamisteedele ja taastumatute energiatega kasutamine.

Joonisel 12 on ära toodud suvirapsi kasvatamise olelusringi hindamise tulemused pärast keskpunkti mõjukategooriate teisendamist kahjukategooriatesse ja normaliseerimist taustväärtusega.



Joonis 12. Kahjude hindamine Impact 2002+ meetodiga ühe kilogrammi rapsiseemne kohta; Y-teljel protsentuaalne osa kogumõjust, X-teljel kahjukategooriad.

Jooniselt 12 on näha, et enamikel suvirapsi kasvatamise etappidel on valitud taustväärtuse puhul suurim mõju inimervisele. Erandiks on siinkohal väetamine, kus suurim mõju on kliimamuutusele. Järgmisena võib tuua kahjukategooria ressursid, mille puhul mõjud ei ole küll nii kõrge väärtusega kui inimervis, kuid siiski olulised sellistes etappides kus kasutatakse taastumatuid loodusvarasid ja/või kaevandatavaid mineraale (mullaharimine, külvamine, väetamine, taimekaitse kasutamine, saagi koristamine).

Sellistes suvirapsi kasvatamise etappides, nagu mullaharimine, külvamine, taimekaitse ja saagi koristamine, kus peamine mõju keskkonnale tuleneb diislikütuse kasutamisest ja tootmisest on olulisem mõjukategooria kantserogeensete ühendite toksilisus inimesele. Teine oluline mõjukategooria eelpooltoodud etappides on anorgaaniliste ühendite mõju hingamisteedele, mis on peamiseks mõjukategooriaks ka emissioonides põllumaalt. Väetamise puhul on suurima väärtusega mõjukategooria globaalne soojenemine.

Lisas 6 (1 ha kohta) ja lisas 7 (1 kg kohta) on ära toodud suvirapsi kasvatamise olelusringi võrgustik kaalutud tulemuste põhjal hinnatuna Impact 2002+ meetodiga, kus on näha, et nii ühe hektari põllumaa kui ka ühe kilogrammi rapsiseemne kohta kõige suurem mõju keskkonnale tuleneb väetamisest (31% kogumõjust), järgnevad mullaharimine (25.6% kogumõjust), saagi koristamine (20.5% kogumõjust) ning emissioonid põllumaalt (11.8% kogumõjust). Taimekaitsevahendite kasutamine moodustab 7.61% kogumõjust ja külvamine 3.53% kogumõjust.

Väetamisest tulenevate emissioonide vähendamiseks on väga oluline õige väetistarbe määramine. Antud juhul on emissioonid määratud 119 kgN/ha, 18.2 kgP/ha ja 63.7 kgK/ha kohta, mis ei ületa Eesti kontekstis optimaalset kogust. Rapsile optimaalseks lämmastikväetiste koguseks peetakse N 100-120 (140) kg/ha (Ilumäe *et al.* 2007a). Noormets, *et al.* (2007) toob omalt poolt välja, et hektarilt kolme tonni rapsi seemnesaagi saamiseks tuleks lämmastikväetist anda N 150-200 kg/ha, kuna suviraps akumulereb lämmastikku 50-60 kg N-i iga tonni seemne tootmiseks. Kaarli (2003) andmetel külvatakse praktikas kõige sagedamini rapsi keskmise väetistarbega muldadele, seega antakse rapsile hektarilt kahe tonni seemnesaagi saamiseks 30 kg/ha fosforit ja 60 kg/ha kaaliumi. Seega võib eeldada, et suuremate väetiskoguste kasutamisel on väetamisest tulenevad keskkonnamõjud veelgi suuremad.

Samuti võib kokkuvõtvalt välja tuua, et antud juhul põhinevad kõik LCI tulemused saagikusel 3615 kg/ha, mis on kõrgem kui Eesti keskmine. Seega võib eeldada, et madalamate saagikuste korral on suvirapsi kasvatamise keskkonnamõjud 1 kg saagi kohta veelgi suuremad. Samuti puuduvad andmed, et suuremate väetisekoguste kasutamisel oleks rapsi saagikus kõrgem kui antud uuringus aluseks võetud saak.

Olelusringi hindamise tulemused sõltuvad ka meetodi valikust, antud juhul kehtivad need Impact 2002+ hindamismeetodi kontekstis. Arvestada tuleb asjaoluga, et tulemuseks ei ole täpsed keskkonnamõjud, vaid andmetest lähtuvalt arvutatud potentsiaalsed keskkonnamõjud (Humbert *et al.* 2012). Brandão *et al.* (2011) toob omalt poolt välja, et LCA on väga informatiivne vahend ja teeb selgeks muuhulgas kompromisside olemasolu, kuid ei anna kindlasti eelistatavaid alternatiive. Samuti on Schmidt&Sullivan (2002) öelnud, et kaalumise ei pruugi anda objektiivseid vastuseid, kuna kohalike või

regionaalsete keskkonnaprobleemide olulisuse suhtes ei leita üksmeelt ja nii jõutakse erinevate olelusringide hindamise käigus erinevate tulemusteni. Seega oleks õigem teha otsuseid tuginedes keskpunkti mõjukategooriatele, mitte aga lõpp-punkti tulemustele (kahjukategooriatele).

KOKKUVÕTE

Maailmas (s.h Eestis) on rapsi kasvupind viimaste aastate jooksul oluliselt suurenenud ja kuigi mujal maailmas kasvatatakse enamasti suurema saagikusega talirapsi, eelistab Eesti põllumees põhjamaisest ilmastikust tingituna majandusriskide maandamiseks kasvatada suvirapsi. Suurem kasvupind võib tähendada ka suuremaid keskkonnamõjusid, mille vältimiseks on vaja teada millised tootmise etapid on kõige suurema keskkonnamõjuga.

Keskkonnamõjude väljaselgitamisel on üheks võimaluseks kasutada olulusringi hindamise metoodikat (*Life cycle assessment*, standard 14040:2006) mille käigus kogutakse kokku info kõikide toote olulusringiga seotud sisendite ja väljundite kohta ning tuuakse välja keskkonnale avalduv potentsiaalne kogumõju.

Käesoleva töö eesmärgiks oli läbi viia suvirapsi kasvatamise olulusringi analüüs, mille tulemusena: 1) selgitati välja suvirapsi kasvatamisega seotud sisendid ja väljundid Eesti kliimatingimustes ühe hektari põllumaa ja ühe kilogrammi rapsiseemne kohta, 2) toodi välja suvirapsi kasvatamise olulisemad keskkonnamõjud ning 3) analüüsiti millistest etappidest ja sisenditest need pärinevad.

Suvirapsi kasvatamise keskkonnamõjude väljaselgitamiseks ja suurimate keskkonnamõjudega kasvatusetappide leidmiseks viidi läbi lühike olulusringi hindamine. Kõik suvirapsi kasvatamisega seotud sisendid ja väljundid on välja toodud nii ühe hektari põllumaa kui ka ühe kilogrammi rapsiseemne kohta.

Olulusringi hindamisse kaasati sellised suvirapsi kasvatamise etapid, nagu mullaharimine, külvamine, väetamine, taimekaitsevahendite kasutamine ja saagi koristamine. Eraldi on välja toodud ühe hektari haritava põllumaa kohta tekkivad emissioonid. Käesolevas töös ei ole arvesse võetud eelneva põllumajanduskultuuri mõju, põllutöömashinate tootmist, rapsiseemne kuivatamist, transporti põllule ja tagasi ning edasist teekonda tarbijani. Inventuuranalüüsi käigus kogutud andmeid analüüsiti tarkvara SimaPro 7.3. ja hindamismeetodi Impact 2002+ abil.

Käesoleva töö üheks eesmärgiks oli välja selgitada suvirapsi kasvatamisega seotud sisendid ja väljundid Eesti kliimatingimustes. Andmete kogumisel tugineti PMK Viljandi Katsekeskuse sordikatsete tulemustele, erinevatele artiklitele ja muudele

kirjandusallikatele. Suvirapsi kasvatamisega seotud sisenditeks on diisli tootmine ja kasutamine, väetiste tootmine ja kasutamine ning taimekaitsevahendite tootmine ja kasutamine. Suvirapsi kasvatamisega seotud väljunditeks on emissioonid õhku, vette ja mulda, mille leidmisel kerkis esile rida probleeme, nagu näiteks toiteelementide sisalduste (taime, mullas) leidmine ja emissioonide koguste arvutamine. Selgus, et uuringuid toiteelementide leostumise, lendumise jne kohta kas ei olnud viimastel aastatel eriti teostatud või siis ei olnud nende tulemused kohaldatavad käesolevasse uuringusse. Kokkuvõtvalt võib öelda, et Eesti teadlastel on palju väljakutseid emissioonide uurimise vallas, kuna tulevikus pööratakse järjest enam tähelepanu erinevate olulusringi hindamistele. Täpsete andmete omamine emissioonide kohta põllu tasandil võimaldaksid hinnata ka erinevate maaharimisviiside mõju ja erinevusi mullatüüpide vahel.

Käesoleva töö eesmärkideks oli veel tuua välja suvirapsi kasvatamise olulisemad keskkonnamõjud ja analüüsida, millistest etappidest ja sisenditest need pärinevad.

Tulemused näitavad, et sellistes suvirapsi kasvatamise etappides mille mõju keskkonnale põhineb peamiselt diisli tootmisel ja kasutamisel (peamiselt PM_{2.5}, SO₂ ja NO_x emissioonidest) nagu mullaharimine, saagi koristamine, külvamine ja taimekaitsevahendite kasutamine, on suur mõju inimese tervisele läbi kantserogeensete ühendite toksilisuse. Teine oluline keskkonnamõju eelpooltoodud suvirapsi kasvatamise etappides on anorgaaniliste ühendite mõju hingamisteedele, mis on peamiseks keskkonnamõjuks ka haritavalt maalt tulenevates emissioonides.

Väetamine, mille mõjud keskkonnale tulenevad NPK väetiste tootmise- ja kasutamisega seotud mõjudest ning emissioonidest (toitelementide leostumine, väljauhtumine, N₂O lendumine) ja diisli tootmise- ja kasutamisega seotud mõjudest ning emissioonidest (peamiselt PM_{2.5}, SO₂ ja NO_x), on suurima keskkonnamõjuga suvirapsi kasvatamise etapp.

Eelpooltoodud põhjustel on suurim keskkonnamõju väetamise puhul kliimamuutusele (mõjukategooria globaalne soojenemine), järgnevad mõju inimese tervisele (mõjukategooria anorgaaniliste ühendite mõju hingamisteedele) ja ressursside kasutamisele (mõjukategooria taastumatute energiaallikate kasutamine).

SUMMARY

Evaluation of environmental impacts of spring rape cultivation based on life cycle assessment

Jana Adari

Attention to climate changes in Europe is constantly increasing. In connection with this by the year 2020 the member states have an obligation to reduce emission of greenhouse gases at least 20 % compared to the rates in 1990 and increase the proportion of renewable energy to 20% of the whole energy production. In 2009 the European Parliament and Commission decided that in addition to the general aim emissions must additionally be decreased in economic sectors not belonging to the emission trading system (including agriculture) (Mandel, 2012).

In addition to greenhouse gases agricultural production is also affected by the energy policies of the European Union, which has set an aim to increase the proportion of biofuels to 10% by the year 2020 (Eesti taastuvenergia...) which, in turn has conditioned high demand and low prices of rape and caused increase in its cultivation areas all over the world.

The trend of increasing rape cultivation area is also detectable in Estonia and whereas the rest of the world mostly cultivates winter rape, the productivity of which is higher, due to the weather conditions the Estonian farmer prefers spring rape. The Nordic climate has shaped the ways of farming in Estonia and created a variety of economic restrictions such as higher energy costs and lower output. Alternation of traditional ways or habits requires thorough knowledge in rape cultivation. Knowing which production processes have the highest environmental impact also provides information about the processes observance of which, in combination with output preservation, enables to exercise environmentally protective behaviour.

One of the means of measuring environmental impacts is the increasingly widely used life cycle assessment (LCA) in course of which environmental impact of production is assessed so to speak from cradle to grave. In essence the method is an analysis based on quantitative

data in which environmental impacts of a product/service are considered within its whole life cycle as a result of which potential impact on the environment is determined.

The aim of this thesis was to conduct life cycle assessment of summer rape cultivation as a result of which: 1) input and output of spring rape cultivation in Estonian climatic conditions for one hectare of agricultural land and one kilogramme of rapeseed were identified, 2) major environmental impacts of summer rape cultivation were listed and 3) specific stages and inputs where the main impacts originate were analysed.

The theoretical part of the thesis describes evaluation methodology of life cycle assessment and provides an overview of rape as an agricultural plant, the possibilities of its utilization as well as the agrotechnique of its cultivation. It also presents data resulting from life cycle assessments of rape previously conducted in the world.

The practical part of the thesis includes inventory analysis of stages in summer rape cultivation the data from which has been analysed by means of the SimaPro software and the Impact 2002+ evaluation method. All input and output connected with spring rape cultivation have been presented for one hectare of agricultural land as well as one kilogramme of rapeseed.

The results of life cycle assessment indicated that fertilization has the highest environmental impact on rape cultivation as well as on climate change. Environmental impacts of fertilization are mainly caused by production and utilization of diesel fuels and fertilizers (NPK). Damage to human health, which has the highest impact in the rest of the stages, has less importance. The results of life cycle analysis indicate that the main impacts of spring rape cultivation result from global warming, effects of inorganic substances on the respiratory system and exploitation of non-renewable sources of energy.

TÄNUAVALDUSED

Käesoleva töö autor tänab Janika Laht-e ja Sirli Pehme-t juhendamise eest ning Põllumajandusuuringute Viljandi Katsekeskuse majanduskatsete osakonna peaagronoomi Eve Siro-t mitmekülgse abi eest.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Aamisepp, M., Matveev, E. (2012) Põllumajandus ja maaelu 2012. *Maamajanduse info-keskus* 37-38
- Astover, A. Kõlli, R., Roostalu, H., Reintam, E., Leedu, E. (2012). Mullateadus. Õpik kõrgkoolidele. Eesti Maaülikool Põllumajanduse ja keskkonnainstituut: 119, 210-217
- Andersen J. M., Poulsen, H.D, Børsting, C.F, Rom, H.B, Sommer, S.G., Hutchings, N.J. (2001), *Ammoniakemission fra landbruget siden midten af 80'erne* (English: Ammonia emission from agriculture since the mid 80ies). Faglig rapport fra DMU, nr. 353, Danmarks Miljøunder-søgelser, Miljøministeriet, Copenhagen
- Bare, J.C., Gloria, T.P., (2008). Environmental impact assessment taxonomy providing comprehensive coverage of midpoints, endpoints, damages and areas of protection. *Journal of Cleaner Production* 16 (2008) 1021-1035 [Online] ScienceDirect (12.04.2013)
- Benoist, A., Dron, D., Zoughaib, A., Origins of the debate on the life-cycle greenhouse gas emissions and energy consumption of first-generation biofuels-A sensitivity analysis approach. (2012). *Biomass and Bioenergy* 40 (2012) 133-142 [Online] ScienceDirect (17.11.2012)
- Brandão, M., Canals, L.M., Clift, R. (2011). Soil organic carbon changes in the cultivation of energy crops: implications for GHG balances and soil quality for use in LCA. *Biomass and Bioenergy* 35 (2011) 2323-2336 [Online] ScienceDirect (17.11.2012)
- Fazio, S., Monti, A., Life cycle assessment of different bioenergy production systems including perennial and annual crops. (2011). *Biomass and Bioenergy* 35 (2011) 4868-4878 [Online] ScienceDirect (17.11.2012)
- Eesti Põllu- ja Maamajanduse nõuandeteenistuse kodulehekülg. Rapsi kasvatamine. <http://www.pikk.ee/valdkonnad/maaettevotlus/mitmekesistamine/rapsi-kasvatamine> (26.12.2012)

- Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. [https://valitsus.ee/UserFiles/valitsus/et/valitsus/arengukavad/majandus-ja-kommunikatsiooniministeerium/Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020.pdf](https://valitsus.ee/UserFiles/valitsus/et/valitsus/arengukavad/majandus-ja-kommunikatsiooniministeerium/Eesti_taastuvenergia_tegevuskava_aastani_2020.pdf) (19.03.2013)
- Eesti viies kliimaruanne. ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni elluviimise kohta. (2009). Eesti (12.03.2013)
- Guinée, J.B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., Ekvall, T., Rydberg, T. (2011). Life Cycle Assessment: Past, Present and Future. *Environmental Science & Technology*. 2011, 45, 90-96 [Online] ScienceDirect (20.03.2013)
- Hayashi, K., Gaillard, G., Nemecek, T. (2007). Life Cycle Assessment of agricultural production systems: current issues and future perspectives *Food & Fertilizer Technology Center* [Online] Thomson Reuters Web of Knowledge (12.09.2012)
- Himanen, S.J., Hakala, K., Kahiluoto, H., *Regional Environmental Change* (2013) 13; Issue 1: 17-32 [Online] Thomson Reuters Web of Knowledge (02.03.2013)
- Humbert, S., Schryver, S., Bengoa, X., Margni, m., Jolliet, O. (2012) IMPACT 2002+: User Guide http://www.sph.umich.edu/riskcenter/jolliet/IMPACT2002+/-IMPACT2002+_UserGuide_for_v2.1_Draft_October2005.pdf (02.03.2013)
- ILCD Handbook, 2010. Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment. European Union: 29-31
- Illumäe, E., Hansson, A., Akk, E. (2007a). Rapsi kasvatamine. *Soovitusi põllukultuuride kasvatajatele*. Saku 2007: 35–38. [Online] http://www.eria.ee/public/files/Pollukultuurid_2007_lk_35-38.pdf (15.09.2012)
- Illumäe, E., Hansson, A., Akk, E. (2007b). Rapsi ohustavad haigused. *Soovitusi põllukultuuride kasvatajatele*. Saku 2007: 39–48 [Online] http://www.eria.ee/public/files/Pollukultuurid_2007_lk_39-48.pdf (15.09.2012)

- IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (11.03.2013)
- Iriarte, A., Rieradevall, J., Gabarrell, X. (2011). Environmental impacts and energy demand of rapeseed as an energy crop in Chile under different fertilization and tillage practices. *Biomass and Bioenergy*, 35 (2011), 4305-4315 [Online] Thomson Reuters Web of Knowledge (20.11.2012)
- ISO (2006) 14040. Keskkonnakorraldus. Olelusringi hindamine. Põhimõtted ja raamistik.
- Joao, M., Fausto, F. (2011). Life-cycle studies of biodiesel in Europe: A review addressing the variability of results and modeling issues. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 15: issue 1:338-351 [Online] ScienceDirect (20.01.2013)
- Karjane, I. (2004a) Põllutöomasina võimsustarve. Eesti Maaviljeluse Instituut. [Online] http://www.eria.ee/public/files/Traktori_valik_2004_5.pdf (26.12.2012)
- Karjane, I. (2004b). Traktori sobivusuuringud 2004. aastal. Eesti Maaviljeluse Instituut. [Online] http://www.eria.ee/public/files/Traktori_valik_2004_1.pdf (26.12.2012)
- Karjane, I. (2005). Traktorite tootlikkus ja masinakulu. Eesti Maaviljeluse Instituut. [Online] http://www.eria.ee/public/files/Traktorite_sobivusuuringud_2005_1_t.pdf (26.12.2012)
- Karjane, I. (2007). Ülevaade Eesti kombainiturust. Eesti Maaviljeluse Instituut. [Online] http://www.eria.ee/public/files/Ylevaade_Eesti_kombainiturust.pdf (26.12.2012)
- Kaarli, K. (2003). Õlikultuuride kasvataja käsiraamat. Saku: Eesti Põllumajandus-ministeerium/ Eesti Maaviljeluse Instituut, 2003, 131: 13-14, 21
- Keskkonnakaitse majandushoobade rakendamise vajadus ja võimalused Eesti põllumajanduses. Uurimistöö aruanne. Keskkonnaministeeriumi lepinguline töö nr 4-5/789. Eesti Maaülikool, Majandus- ja sotsiaalinstituut. Tartu 2008 <http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1159750/Keskkonnakaitse%2Bmajandushoovad%2Bpollumajanduses%2B05.04.2008.pdf> (20.11.2012)

- Kärblane, H., Hannolainen, E., Kanger, J., Kevvai, L. (2002). Taimetoitainete bilansist Eesti Maaviljeluses. *Agraarteadus* 2002*XIII*4. Akadeemiline Põllumajandusselts. 230-236
- Lauringson, N., Talgre, L. (2012). Integreeritud taimekaitse. Teraviljafoorum 2012 *Eesti Põllumajandus-Kaubanduskoda [Online]:*19-20 (15.02. 2013)
- Life cycle assessment: Principles and Practice. (2006). Scientific Applications International Corporation (SAIC). United states environmental Protection Agency (EPA). http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/pdfs/chapter1_frontmatter_lca101.pdf (17.09.2012)
- LIPASTO traffic emissions. *VTT Technical Research Centre of Finland* http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/muute/tyokoneete/diesel_a_ke.htm (20.04.2013)
- Loide, V. Kas rapsi tasub väetada *Maamajandus* 02.2006 15-17 [Online] http://pmk.agri.ee/files/f349/Valli_artikkel.pdf (26.12.2012)
- Mandel, M. (2012) Põllumajandus ja kliimamuutused. 2012 Teraviljafoorum 2012 *Eesti Põllumajandus-Kaubanduskoda [Online]:*26-27 (15.02. 2013)
- Masinakulude algoritmid. Teraviljakombain. Eesti Maaviljeluse Instituut http://www.eria.ee/www/?page_id=355 (26.12.2012)
- Milazzo, M.F., Spina, F., Vinci, A., Espro, C., Bart, J.C.J (2013). Brassica biodiesels: Past, present and future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18 (2013) 350-389 [Online] ScienceDirect (20.03.2013)
- Noormets, M., Raave, H., Viiralt, R., Kuusemets, V., Alaru, M., Kuht, J., Talgre, L., Makke, A. (2007). Rohtsete energiakultuuride uuringud. Eesti Maaülikool, Maaelu Edendamise Sihtasutus, Tartu 2007: 35-42
- Põllumajandusuuringute Keskuse Viljandi Katsekeskuse kodulehekülg <http://pmk.agri.ee/viljandi/katsed.php> (20.12.2012)
- Põllumajandussektori 2011. aasta ülevaade. (2012) Põllumajandusministeerium Põllumajandusturu korraldamise osakond <http://www.agri.ee/taimekasvatussaadused/> (22.10.2012)

- Põllumajandussektori 2012. aasta ülevaade. (2013) Põllumajandusministeerium
Põllumajandusturu korraldamise osakond <http://www.agri.ee/taimekasvatussaadused/>
(22.10.2012)
- Reintam, A. (2003) Mulla pindharimismasinad. *Põllundusmasinad* 3; 6-43 Eesti
Põllumajandusülikool, Eesti Maaviljelusinstituut. http://www.eria.ee/www/wp-content/uploads/2012/05/Mulla_pindharimise_masinad.pdf (10.11.2012)
- Riiklike majanduskatsete tulemused (2007- 2012). Riiklike sordivõrdluskatsete kogumikud.
[www]. <http://pmk.agri.ee/viljandi/kogumikud.php>
- Ristõielised õlikultuurid. (2012). *Riiklike majanduskatsete katsemetoodika*. Põllumajandus-
ameti Sordiosakond. [www]. <http://www.pma.agri.ee/index.php?id=-104&sub=130&sub2=320&sub3=321> (19.01.2013)
- Rondalini, P.D., Gomes, N.V., Agosti, M.B., Miralles, D.J., (2012). Global trends of
rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades.
European Journal of Agronomy 37 (2012) 56-65 [Online] ScienceDirect
(03.12.2012)
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., Shiina, T. (2009). A
review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food
Engineering* 90 (2009) 1–10 [Online] ScienceDirect (20.08.2012)
- Statistikaameti andmebaasid <http://pub.stat.ee/px-web.2001/dialog/statfile2.asp> (22.02.04)
- Sara, G.G., Daniel, G.R., Almudena, H. (2013). Environmental life cycle assessment for
rapeseed-derived biodiesel. *International Journal of Life Cycle assessment* 18, issue:1:
61-76 [Online] Thomson Reuters Web of Knowledge (02.05.2013)
- Schmidt J H (2007), Life assessment of rapeseed oil and palm oil. Ph.D. thesis, Part 3: Life
cycle inventory of rapeseed oil and palm oil. *Department of Development and Planning,
Aalborg University, Aalborg* http://vbn.aau.dk/files/10388016/inventory_report
(20.03.2013)

- Schmit, W.P., Sullivan, J. (2002) Weighting in life cycle assessments in a global context. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 7, issue 1: 5-10[Online] Thomson Reuters Web of Knowledge (02.03.2013)
- SimaPro 6 (2004). Goedkoop, M., Oele, M. Introduction to LCA with SimaPro. 35-38 <http://www.pre-sustainability.com/download/manuals/UserManual.pdf> (22.03.2013)
- Soosaar, K., (2010). Greenhouse gas fluxes in rural landscapes of Estonia. Dissertation <http://dspace.utlib.ee/dspace/handle/10062/15924?show=full> [Online] DSpace at University of Tartu: 21-31
- Söötade keemilise koostise ja toiteväärtuse tabelid. (2004). Eesti Põllumajandusülikool
- Taimekaitsevahendid ja kasvuregulaatorid kasutamiseks Eesti Vabariigis. (2012). Põllumajandusamet. Saku
- Taimekaitseregister. Põllumajandusamet. <http://saku.pma.agri.ee:22001/jisweb/forms/mainframe.htm> (12.01.2013)
- Talve, S., Pöld, E. (2005). Olelusringi hindamine. Pärnu 2005
- Tamm, K. (2010) Rapsi tähtsus. Raps teaduses ja päevaprobleemides *Eesti Maaviljeluse Instituut* Saku: 14-19
- Tuomisto, H.L., Hodge, I. D., Riordan, P., Macdonald, D.W., (2012a). Comparing energy balances, greenhouse gas balances and biodiversity impacts of contrasting farming systems with alternative land uses *Agricultural Systems* 108 (2012) 42-49 [Online] ScienceDirect (03.12.2012)
- Tuomisto, H.L., Hodge, I.D., Riordan, P., Macdonald, D.W. (2012b). Does organic farming reduce environmental impacts? – A meta-analysis of European research. *Journal of Environmental Management* 112 (2012) 309-320
- Vettik, R., Võsa, T. (2010). Masinatest rapsikasvatuse. *Raps teaduses ja päevaprobleemides*. Eesti Maaviljeluse Instituut Saku 21-44

Viil, P. (2010) Raps- miks ja kuidas. *Raps teaduses ja päevaprobleemides Eesti Maaviljeluse Instituut* Saku 21-44

Viil, P. (2012). Uenduslikud tehnoloogilised võtted taimekasvatuses. *Vedelsõnnik ja mullaharimine*. Eesti Maaviljeluse Instituut Saku: 21-47

LISAD

Lisa1. Riiklike majanduskatsete ristõieliste õlikultuuride katsearuande vorm

1. Üldmetoodika

Katsekoht VILJANDI KATSEKESKUS

Kultuur SUVIRAPS

Katseaasta 2012

Mullastiku iseloomustus:

Mulla liik LP(g)

Mullaanalüüsi tegemise aeg: kevad 2012.a

Mikroelementide sisaldus:

Mulla lõimis
mg/kg

ls₁

P sisaldus mullas 138

Ca 1608 mg/kg

Eelvili suvinisu

K sisaldus mullas 167 mg/kg

Mg 130 mg/kg

Arvestuslapi suurus 10 m²

Org C % 1,7 %

Cu 1,3 mg/kg

pH 6,1

B 0,63 mg/kg

Mn 50 mg/kg

S 2,3 mg/kg

Külv:

Külvi kuupäev 08.05.2012

Külvinorm: liinsordid 100 ja hübriidsordid 65 idanevat tera/m²

Reavahe 12 cm

Katse faktorilisuus: I - haigustõrjega - I ja II kordus

II - haigustõrjeta - III ja IV kordus

II. Kasvutingimused

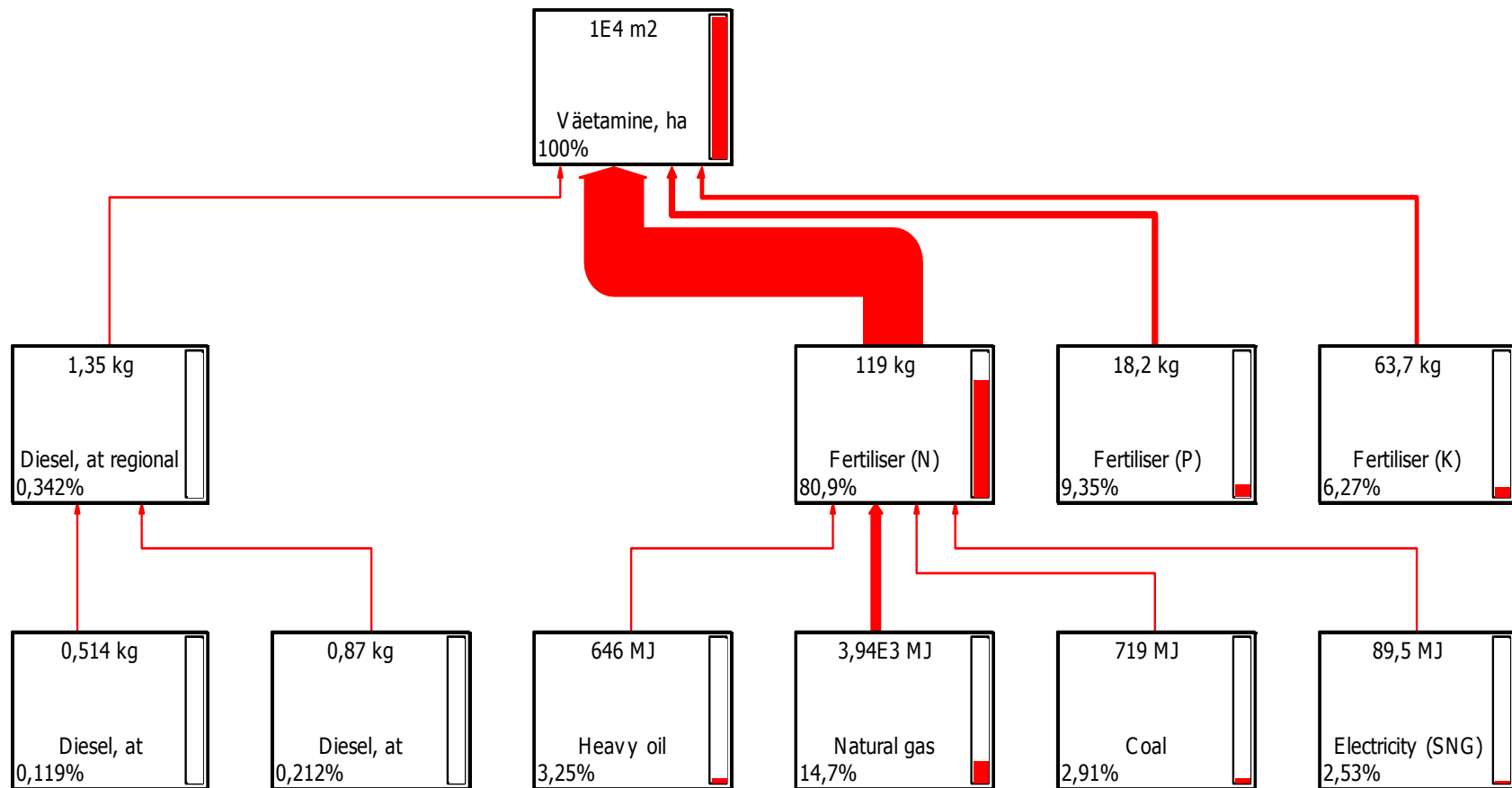
Preparaadi nimetus seemnete töötlemisel	Väetamine							Kasutatud taimekaitsevahendid					
		toiteelemendi kogus kg/ha				väetis kg/ha, l/ha					vee kogus l/ha	taime arengufaas töötlemisel	töötlemise kuupäev
		N	P	K	mikro- elem.	kaubanduslik nimetus	kogus						
Cruiser	03.05.12	119	18,2	63,7	S-98	N-P2O5-K2O (+Mg+S)+boor (B) 17-6-11 (+1,2+14)+0,02	700 kg/ha	insektitsiid	Fastac	0,2	300	10	21.05.12
					Mg- 8,4			herbitsiid	Galera	0,35	300	13-14	05.06.12
					B- 0,14			kleepeaine	Contact	0,1	300	13-14	05.06.12
								herbitsiid	Agil	1,0	200	22-24 / 51	13.06.12
								insektitsiid	Proteus	0,7	200	22-24 / 51	14.06.12
								insektitsiid	Decis Mega	0,05	200	51-55	21.06.12
								insektitsiid	Decis Mega	0,15	200	53-64	28.06.12
								fungitsiid	Tilmor	0,7	300	61-65	03.07.12

Lisa 2. Masinakulude algoritmid. Teraviljakombain.

Näitaja	Ühik	150 kW	225 kW	üle 300 kW
Heedri laius	m	4...4,5	6	7
Ostuhind	€	142000	235000	300000
Laenu suurus	€	85000	141000	180000
Laenu intress	%	7	7	7
Laenu tähtaeg	aasta	6	5	5
Tööressurss	töötund	3000	3000	3000
Aastane töömaht	töötund	220	220	230
Kasutusaeg	aasta	13,6	13,6	13
Tootlikkus	ha/h	1,6	2,3	2,6
Hoiuplatsi vajadus	m ²	100	100	100
Hoiukulud platsil	€/m ²	2	2	2
Kombaini liikluskindlustus	€/a	13	13	13
Kombaini varakindlustus	%	0,5	0,5	0,5
Korrashoid (300 h kohta)	% hinnast	3,5	3,5	3,5
Diislikütuse kulu	l/h	24	36	50
Diislikütuse hind	€/l	0,73	0,73	0,73
Määrdeainete kulu	l/h	0,2	0,4	0,5
Määrdeainete hind	/l	2,3	2,3	2,3
Töötasu	€/h	4,5	4,5	4,5
Juurdearvestused töötasule	%	41	41	41
Ettevõtte üldkulud	%	7	7	7
Ettenägemata kulud (risk)	%	2	2	2
Soovitav kasum	%	5	5	5
Kulum	€/h	47,3	78,3	100,0
Intress	€/h	6,0	13,7	17,5
Hoiukulud	€/h	0,9	0,9	0,9
Kindlustus	€/h	1,7	2,7	3,3
Püsikulud kokku	€/h	55,9	95,7	121,7
Kütuse maksumus	€/h	17,5	26,3	36,5
Määrdeinete maksumus	€/h	0,5	0,9	1,2
Korrashoiukulud	€/h	16,6	27,4	35,0
Töötasu	€/h	4,5	4,5	4,5

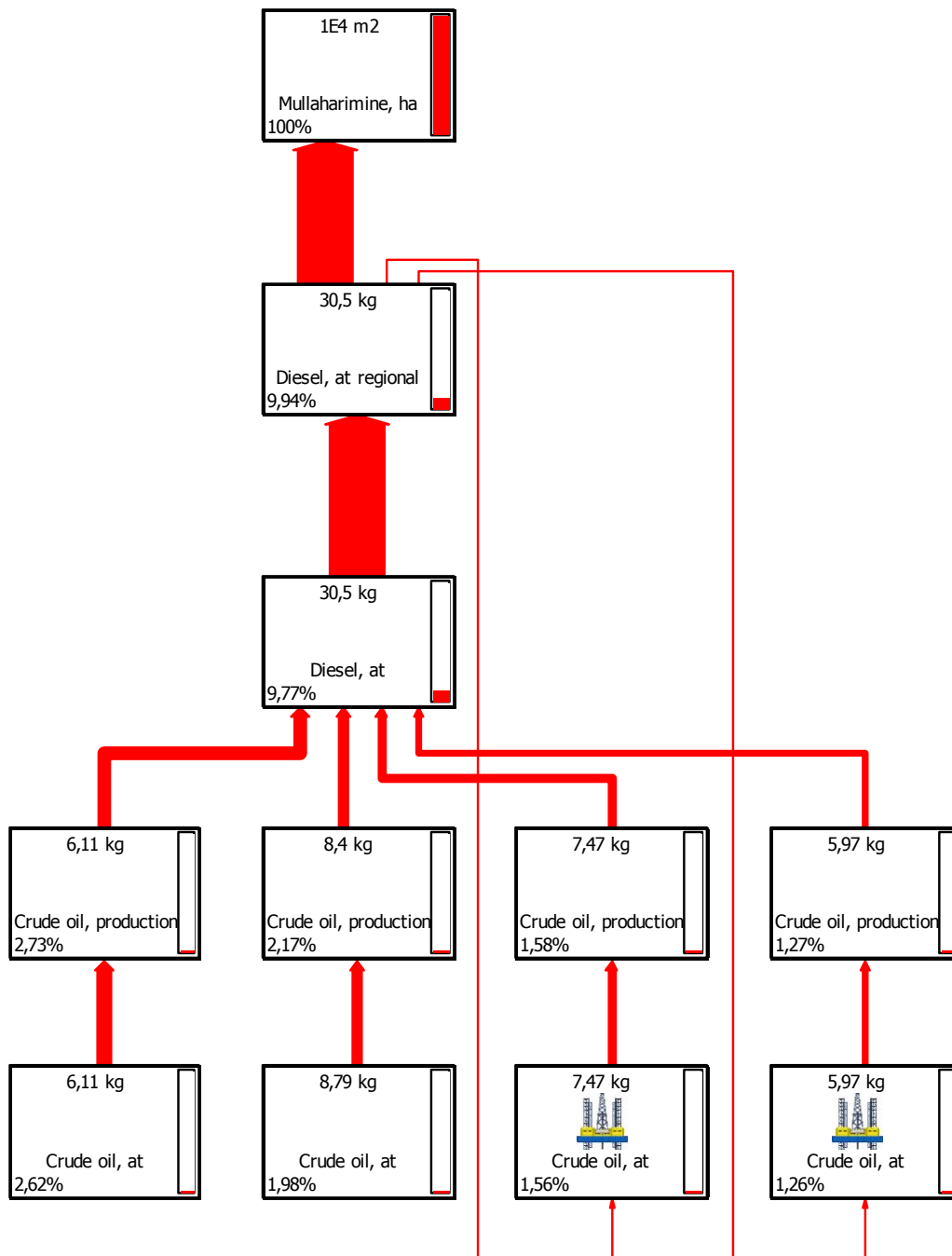
Lisa 3. Ühe hektari põllumaa väetamise keskkonnamõjud.

Protsentuaalne mõju koguväärtusest. Esindatud kõige suurema mõjuga protsessid (väiksema mõjuga kui 0,1% ei kajastu joonisel).



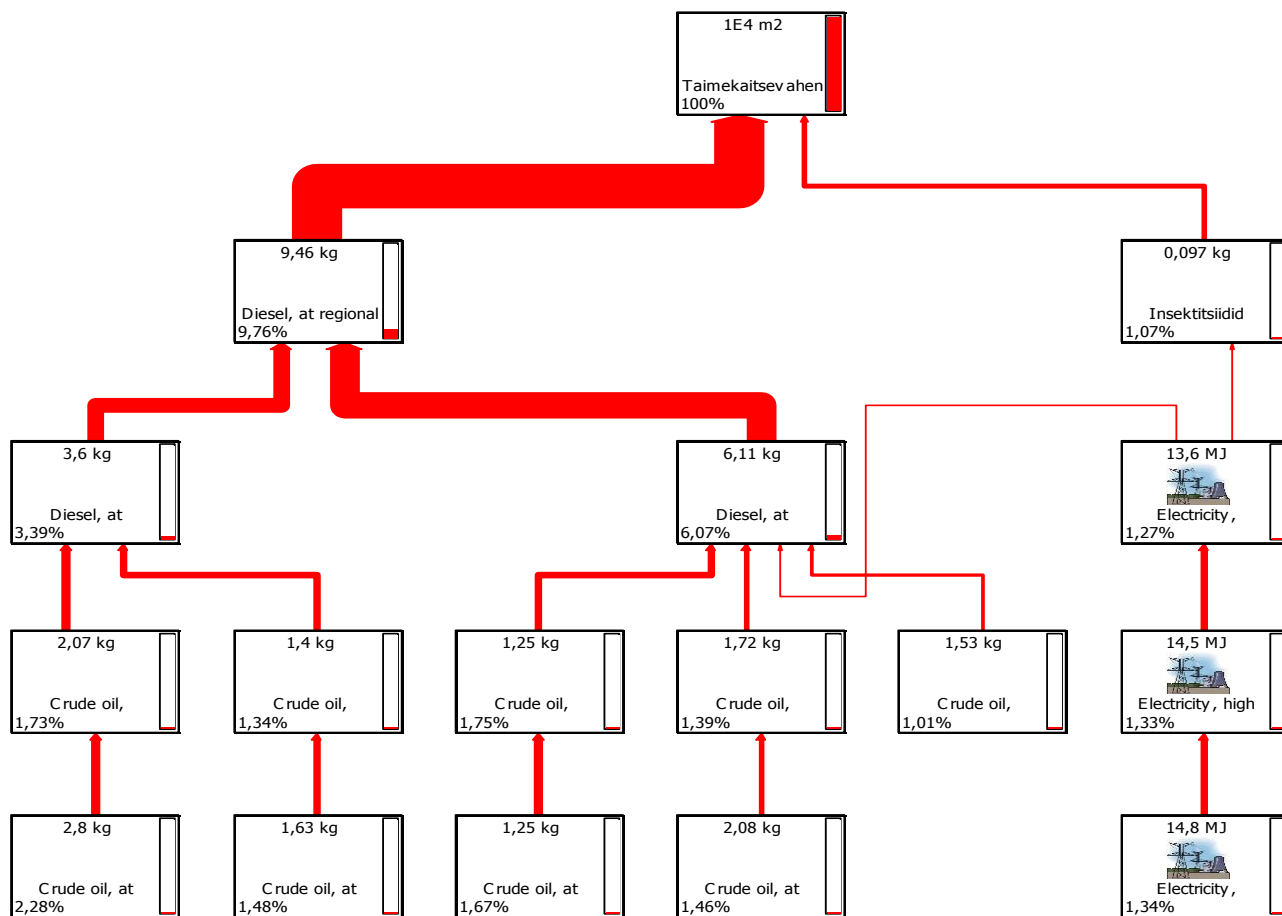
Lisa 4. Ühe hektari põllumaa mullaharimise keskkonnamõjud.

Protsentuaalne mõju koguväärtusest. Esindatud kõige suurema mõjuga protsessid (väiksema mõjuga kui 1% ei kajastu joonisel).



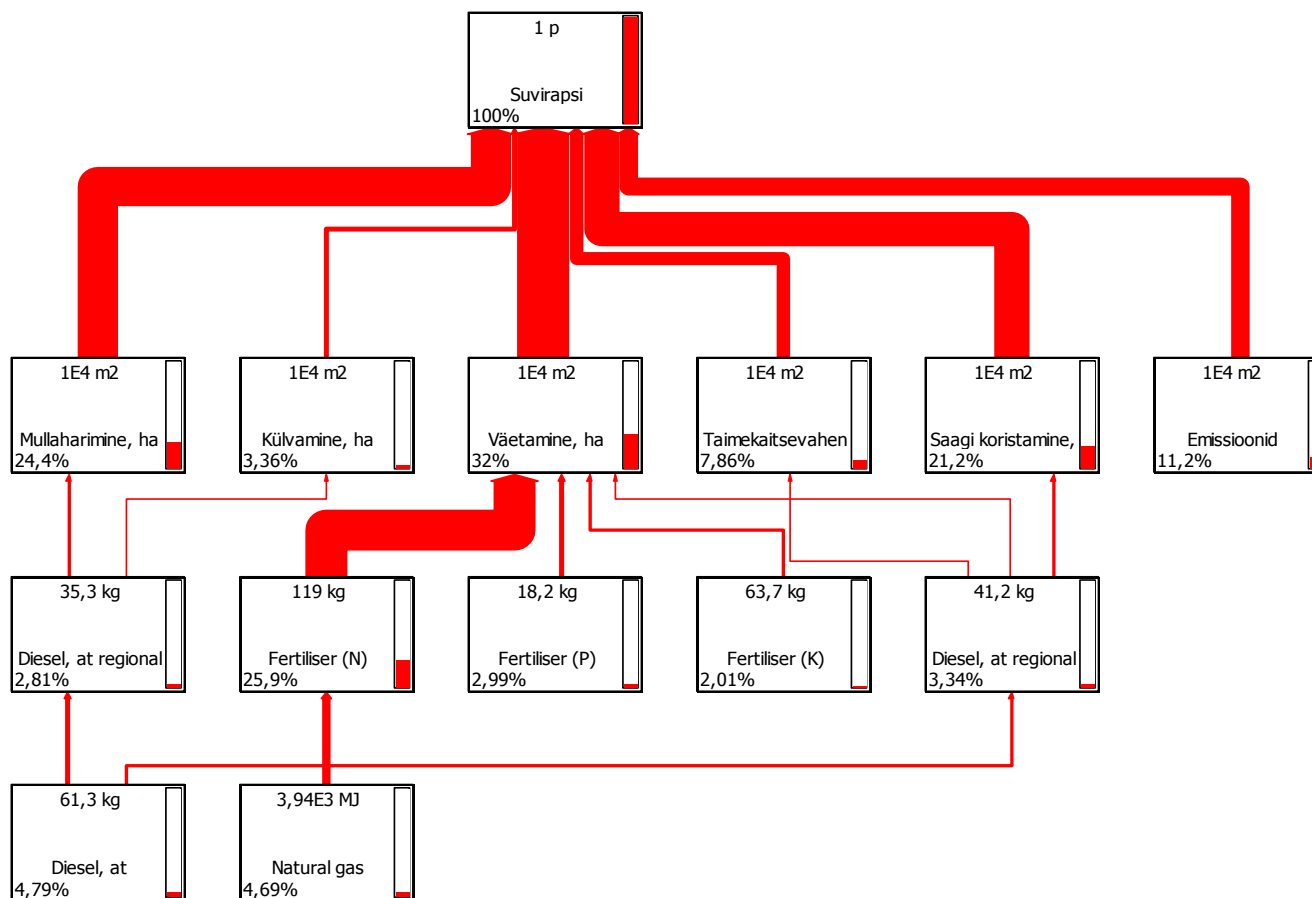
Lisa 5. Ühel hektaril põllumaal taimekaitsevahendite kasutamise keskkonnamõjud.

Protsentuaalne mõju koguväärtusest. Esindatud kõige suurema mõjuga protsessid (väiksema mõjuga kui 1% ei kajastu joonisel).



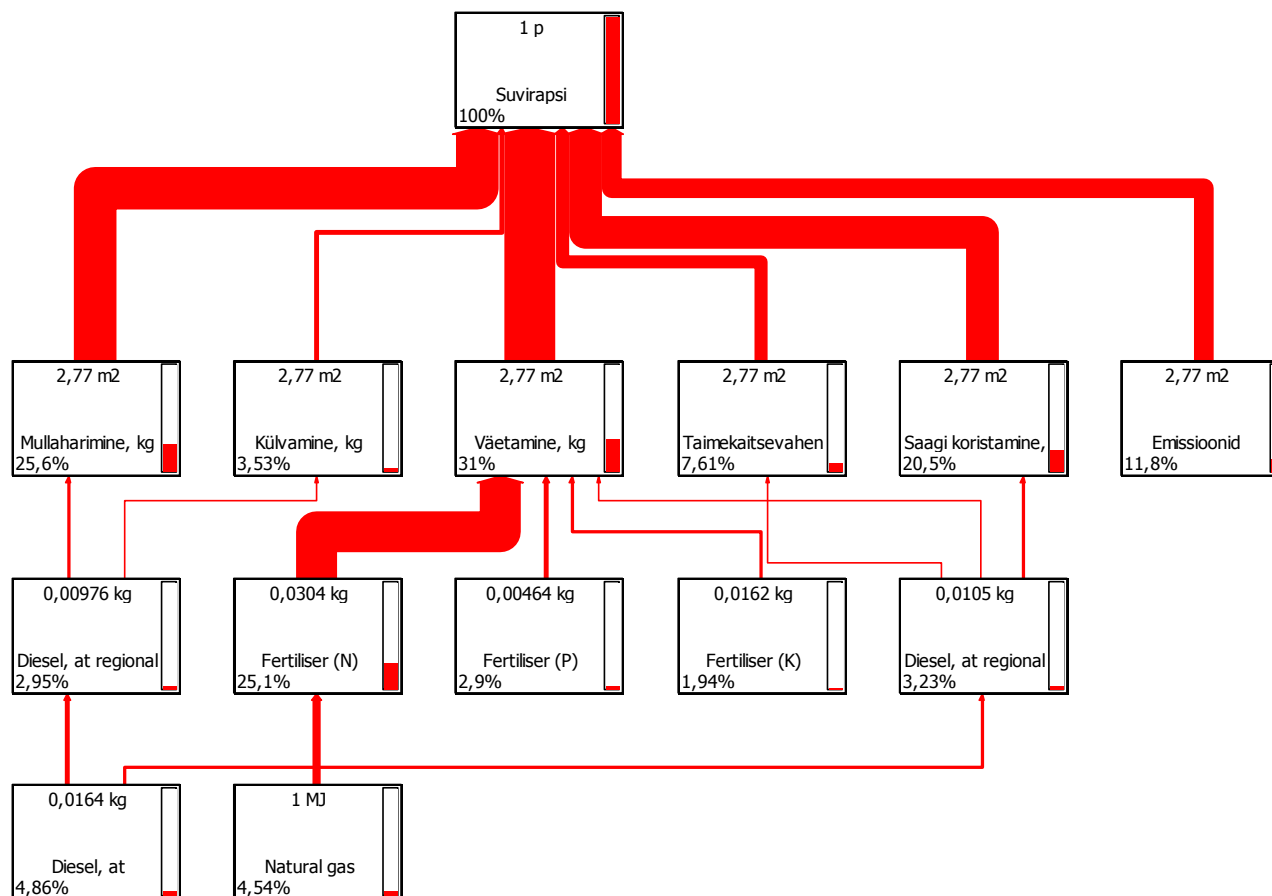
Lisa 6. Suvirapsi kasvatamise olelusringi kaalutud tulemuste mõjuvõrgustik ühe hektari põllumaa kohta

Protsentuaalne mõju koguväärtusest. Esindatud kõige suurema mõjuga protsessid (väiksema mõjuga kui 1,5% ei kajastu joonisel).



Lisa 7. Suvirapsi kasvatamise olelusringi kaalutud tulemuste mõjuvõrgustik ühe kilogrammi rapsiseemne kohta

Protsentuaalne mõju koguväärtusest. Esindatud kõige suurema mõjuga protsessid (väiksema mõjuga kui 1,5% ei kajastu joonisel).



Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina

Jana Adari

(sünnikuupäev: 10.05.1969)

annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Suvirapsi kasvatamise keskkonnamõjude hindamine läbi olulusringi analüüsi,

mille juhendajad on Janika Laht ja Sirli Pehme,

1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
3. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 20.05.2013